LETICIA PINTO FIGUEIREDO

**Proposta de metodologia com o emprego da tecnologia de
automação e tecnologia de informação para a melhoria de
indicadores de sustentabilidade na extração de potássio para
produção de fertilizantes - TAIMISEP**

SÃO PAULO

2016

LETICIA PINTO FIGUEIREDO

**Proposta de metodologia com o emprego da tecnologia de
automação e tecnologia de informação para a melhoria de
indicadores de sustentabilidade na extração de potássio para
produção de fertilizantes - TAIMISEP**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de Mestre
em Ciências

Área de Concentração: Engenharia de
Energia e Automação

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Luiz Pereira

SÃO PAULO

2016

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 09 de dezembro de 2016

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Figueiredo, Leticia Pinto

Proposta de metodologia com o emprego da tecnologia de automação e tecnologia de informação para a melhoria de indicadores de sustentabilidade na extração de potássio para produção de fertilizantes - TAIMISEP / L. P. Figueiredo -- versão corr. -- São Paulo, 2016.

138 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.Tecnologia (Automação) 2.Sustentabilidade 3.Fertilizantes (Produção)
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

*Dedico este trabalho
aos meus pais Aureo e Cirene
e irmãs Ana Carolina e Beatriz
por todo o apoio nessa jornada incrível que é a Vida.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Aureo e Cirene pelo carinho, inspiração e incentivo ao meu desenvolvimento cultural.

As minhas irmã Ana Carolina e Beatriz, pela companhia e exemplo.

Ao meu orientador Professor Doutor Sergio Luiz Pereira que me orientou a desvendar os caminhos deste aprendizado.

As minhas sobrinhas Sophia e Valentina, pela alegria transmitida.

Aos meus amigos pelo apoio e companheirismo.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em especial ao grupo GAESI que me auxiliaram nesse desafio.

À empresa ABB em especial aos meus gestores, por me apoiarem e permitirem a realização deste trabalho.

Aos profissionais da unidade Taquari-Vassouras da VALE S.A., por toda troca de informações e experiência.

*“If you want to find the secrets of the universe,
think in terms of energy, frequency and, vibration.”
(Nikola Tesla)*

RESUMO

Este trabalho apresenta a metodologia TAIMISEP, acrônimo para Tecnologia de Automação e Informação para Melhoria dos Indicadores de Sustentabilidade na Extração de Potássio que, cuja implementação objetiva aumento da produtividade, incremento de produção de potássio, permitir a redução da demanda de energia elétrica e mitigação de impactos ambientais.

A metodologia TAIMISEP incorpora e adapta as metodologias: MAPEAS de Züge (2014) e MPCTAI de Silva (2013), além de pesquisa de dados disponíveis na literatura técnica.

A verificação da viabilidade da metodologia TAIMISEP foi realizada a partir de sua aplicação, como estudo de caso, na única fábrica produtora de potássio localizada no Brasil, a Unidade Operacional de Taquari-Vassouras da empresa VALE S.A. Os resultados e análises da aplicação da metodologia TAIMISEP também são apresentados nesta dissertação.

Este trabalho também apresenta a importância do potássio para a humanidade devido seu impacto quando utilizado como fertilizante na produção de alimentos de origem agrícola, bem como detalhamento dos métodos para sua extração.

Adicionalmente, foram analisados e apresentados os principais indicadores de sustentabilidade e os modelos internacionais de relatórios de sustentabilidade utilizados por empresas produtoras de potássio.

Palavras-chave: automação, sustentabilidade, extração de potássio e produção de fertilizantes.

ABSTRACT

This research presents TAIMISEP methodology, acronym for Automation and Information technologies methodology for improving sustainability indicators on potash extraction. TAIMISEP implementation aims to increase productivity and potash production, as synergic result from reducing electrical energy demand and environmental impacts mitigation.

TAIMISEP methodology incorporates and adapts premises from methodologies: MAPEAS, Züge (2014) and MPCTAI, Silva (2013), integrated with research and available data on technical literature.

Results verification and feasibility of TAIMISEP methodology were accomplished by its application as case study on the unique site that produces potash named Taquari-Vassouras Operational Unit of VALE S.A Company, UOTV, located at Sergipe State - Brazil. The site conditions, processes results and analysis of this application were also presented.

This research intends to emphasize potash significance to humanity due to its impacts when applied as fertilizer on crops for producing food and also detailing of process methods for its obtainment.

Furthermore, main sustainability indicators and international models of reports considered by major potash producers were presented and analyzed.

Keywords: automation, sustainability, potash extraction and fertilizers production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama representativo da Estrutura da Dissertação.	22
Figura 2 – Ilustração da Agricultura no Egito Antigo às Margens do Rio Nilo.	24
Figura 3 – Fotografia Aérea de primeira fábrica produtora de amônia em escala da BASF em Ludwigshafen na Alemanha.	30
Figura 4 – Diagrama de processo para a obtenção da Mistura NPK.	33
Figura 5 – Fotografia Aérea da Unidade Operacional de Taquari Vassouras.	34
Figura 6 – Fluxograma do processo produtivo por dissolução para extração de KCl a partir do mineral Carnalita.	36
Figura 7 – Fotografia de Estrutura denominada Árvore de Instrumentação dos Poços.	37
Figura 8 – Estrutura de poços de extração de KCl de uma Mina de Dissolução.	38
Figura 9 – Detalhe da estrutura de poços de uma Mina de Dissolução em sua fase de maturação.	39
Figura 10 – Cavernas unidas após o período de maturação dos poços.	40
Figura 11 – Fotografia da Mina de Lanigan, Canadá.	41
Figura 12 – Ilustração do Equipamento Britador tipo Mandíbula.	42
Figura 13 – Ilustração de um Equipamento Classificador.	44
Figura 14 – Fluxograma simplificado de um processo convencional de extração de KCL.	45
Figura 15 – Diagrama de Veen dos Pilares da Sustentabilidade.	54
Figura 16 – Ilustração do Modelo de Desenvolvimento Sustentável.	55
Figura 17 – Diagrama de blocos de um processo produtivo genérico.	56
Figura 18 – Gráfico das empresas Produtoras de Fertilizantes.	64
Figura 19 – Ilustração das Etapas de Automação na linha do tempo.	67
Figura 20 – Fluxograma de Implementação de um PDAI.	70
Figura 21 – Fotografia do anúncio da morte do Papa João Paulo II em 2005.	72
Figura 22 – Fotografia do anúncio da eleição do Papa Francisco em 2013.	72
Figura 23 – Infográfico das Revoluções ocorridas na Indústria.	74
Figura 24 – Ilustração dos Tipos de Planejamento	76
Figura 25 – Fluxograma da Metodologia MPCTAI.	79

Figura 26 – Fluxograma do modelo de análise da metodologia MAPEAS.	82
Figura 27 – Fluxograma da metodologia MAPEAS.....	84
Figura 28 – Fluxograma da Metodologia TAIMISEP – Parte 1.	87
Figura 29 – Fluxograma da Metodologia TAIMISEP – Parte 2.	88
Figura 30 – Fluxograma da Metodologia TAIMISEP – Parte 3.	89
Figura 31 – Fotografia Aérea da Unidade Operacional de Taquari-Vassouras. .	93
Figura 32 – Infográfico parcial do relatório de sustentabilidade 2015 da VALE.S.A.....	95
Figura 33 – Fotografia dos Indicadores de Segurança, Saúde e Meio Ambiente da UOTV.	96
Figura 34 – Fotografia da Rocha Potássica Lavrada na Mina Subterrânea de Taquari-Vassouras	97
Figura 35 – Fotografia do Produto Final da Unidade de Taquari-Vassouras	98
Figura 36 – Fotografia Externa do Poço de Extração da Unidade de Taquari-Vassouras.	99
Figura 37 – Fotografia de uma das telas do sistema supervisor da Mina da UOTV.	100
Figura 38 – Macro Arquitetura de Hardware da Mina da Unidade de Taquari-Vassouras.	101
Figura 39 – Fotografia Parcial da Correia-Transportadora que movimenta o material extraído da Mina para a Usina de Beneficiamento.	102
Figura 40 – Fotografia da Pilha Pulmão na Praça de ROM da UOTV.....	103
Figura 41 – Infográfico da Usina de Beneficiamento da Unidade de Taquari-Vassouras.	104
Figura 42 – Fotografia da poeira gerada no beneficiamento do KCl.	114
Figura 43 – Exemplo de Corrosão dos Materiais na Unidade de Taquari-Vassouras.	115
Figura 44 – Exemplo de Vazamento na Unidade de Taquari-Vassouras.....	116
Figura 45 – Proposta de Projeto de Automação - Processo.....	123
Figura 46 – Macro Arquitetura de Projeto de Automação - Processo.	124
Figura 47 – Proposta de Projeto de Automação – Elétrica.....	126
Figura 48 – Macro Arquitetura da Proposta de Projeto de Automação - Elétrica.	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção Nacional X Demanda de Fertilizantes.	20
Tabela 2 – Função e percentual de concentração típica dos dos macro e micronutrientes para o crescimento das plantas.	28
Tabela 3 – Diferenças entre os tipos de fertilizantes quanto a sua qualidade...29	
Tabela 4 – Principais Minerais para a Obtenção de Potássio.	32
Tabela 5 – Produção Mundial de Potássio.	46
Tabela 6 – Métodos de Produção de Potássio em Saskatchewan – Canadá.	47
Tabela 7 – Indicadores de Produção de Fábrica Produtora de Potássio – Patience Lake, por método de extração por dissolução.....	49
Tabela 8 – Indicadores de Produção de Fábrica Produtora de Potássio - Lanigan, por método de extração convencional.	49
Tabela 9 – Indicadores de Sustentabilidade – Emissão de Gases de Fábrica Produtora de Potássio – Patience Lake, por método de extração por dissolução.....	50
Tabela 10 – Indicadores de Sustentabilidade – Emissão de Gases de Fábrica Produtora de Potássio - Lanigan, por método de extração convencional.	50
Tabela 11 – Indicadores de Sustentabilidade – Resíduos Gerados de Fábrica Produtora de Potássio – Patience Lake, por método de extração por dissolução.....	51
Tabela 12 – Indicadores de Sustentabilidade – Resíduos Gerados de Fábrica Produtora de Potássio - Lanigan, por método de extração convencional.	51
Tabela 13 – Indicadores de Sustentabilidade – Quantidade de Água Utilizada em Fábrica Produtora de Potássio – Patience Lake, por método de extração por dissolução.....	52
Tabela 14 – Indicadores de Sustentabilidade – Quantidade de Água Utilizada em Fábrica Produtora de Potássio - Lanigan, por método de extração convencional.	52
Tabela 15 – Indicadores de Sustentabilidade – Energia Consumida de Fábrica Produtora de Potássio – Patience Lake, por método de extração por dissolução.....	52

Tabela 16 – Indicadores de Sustentabilidade – Energia Consumida de Fábrica Produtora de Potássio - Lanigan, por método de extração convencional.	53
Tabela 17 – Requisitos para os Níveis de Relatórios GRI.....	61
Tabela 18 – Modelos de Relatórios de Sustentabilidade Utilizados nas Maiores Empresas Produtoras de Fertilizantes do Mundo.	65
Tabela 19 – Definição das Macro Etapas da Metodologia MPCTAI.....	80
Tabela 20 – Definição das Macro Etapas do Modelo de Análise da Metodologia MAPEAS.	82
Tabela 21 – Definição das Etapas da Metodologia MAPEAS.....	85
Tabela 22 – Principais equipamentos da Mina da UOTV.	106
Tabela 23 – Principais equipamentos da Usina de Beneficiamento da UOTV.	107
Tabela 24 – Principais variáveis controladas e parâmetros de referência dos equipamentos da Mina.....	108
Tabela 25 – Principais variáveis controladas e parâmetros de referência dos equipamentos da Usina de Beneficiamento.	109
Tabela 26 – Comparativo dos Indicadores da Etapa 1 com os indicadores da Etapa 5.....	111
Tabela 27 – Solução Técnica para os Fatores ou Sub Processos Menos Eficientes definidos na etapa 8.	117
Tabela 28 – Análise comparativa urgência x custos de implantação.....	118
Tabela 29 – Definição da Prioridade de Implantação.	119
Tabela 30 – Análise comparativa da Prioridade de Implantação x Relação com Automação Industrial.....	120
Tabela 31 – Comparação de funcionalidades de Sistemas de Automação.....	129
Tabela 32 – Análise Estimativa do desempenho das funcionalidades da Proposta de Projeto de Automação.....	130

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANDA	<i>Associação Nacional para Difusão de Adubos</i>
A.C.	<i>Antes de Cristo, referência bíblica</i>
CIM	<i>Canadian Institute of Mining</i>
CAPEX	<i>Capital Expenditure, relativo a investimentos de capital em novos empreendimentos</i>
KCI	<i>Cloreto de Potássio</i>
NACI	<i>Cloreto de Sódio</i>
TNT	<i>Trinitrotolueno</i>
CIMOSA	<i>Computer Integrated Manufacturing Open Systems Architecture</i>
DCS	<i>Distributed Control System</i>
NPK	<i>Elementos Químicos (N) Nitrogênio, (P) Fósforo e (K) Potássio que compõem os fertilizantes</i>
Nitrogênio (N)	<i>Elementos Químicos da tabela periódica</i>
Fósforo (P)	<i>Elementos Químicos da tabela periódica</i>
Potássio (K)	<i>Elementos Químicos da tabela periódica</i>
Cálcio (Ca)	<i>Elementos Químicos da tabela periódica</i>
Magnésio (Mg)	<i>Elementos Químicos da tabela periódica</i>
Enxofre (S)	<i>Elementos Químicos da tabela periódica</i>
Boro (B)	<i>Elementos Químicos da tabela periódica</i>
Cloro (Cl)	<i>Elementos Químicos da tabela periódica</i>
Cobalto (Co)	<i>Elementos Químicos da tabela periódica</i>
Cobre (Cu)	<i>Elementos Químicos da tabela periódica</i>
Ferro (Fe)	<i>Elementos Químicos da tabela periódica</i>
Manganês (Mg)	<i>Elementos Químicos da tabela periódica</i>
GJ/t	<i>Energia (GJ) por produção (t), conceito de eficiência energética</i>
	<i>Fundo das Nações Unidas para a Infância</i>
UNICEF	<i>Gases do Efeito Estufa</i>
GEE	<i>Global Reporting Initiative, referente a um modelo de relatório de sustentabilidade</i>
GRI	<i>GRAI Integrated Methodology</i>

GIM	<i>Industrial Standard for Automation</i>
ISA	<i>International Fertilizer Industry Association</i>
IFA	<i>International Institute for Sustainable Development</i>
IISD	<i>International Standard Organization</i>
ISO	<i>Metodologia desenvolvida por Silva (2013) utilizada como</i>
MPCTAI	<i>referência para a metodologia TAIMISEP</i>
	<i>Metodologia desenvolvida por Züge (2014) utilizada como</i>
MAPEAS	<i>referência para a metodologia TAIMISEP</i>
	<i>Mil toneladas</i>
Mil t	<i>Milhões de Dólares (unidade monetária dos EUA)</i>
MUSD	<i>Milhões de Dólares Canadenses (unidade monetária do</i>
MCAD	<i>Canadá)</i>
	<i>Milhões de toneladas por ano</i>
Mt/a	<i>Millennium Development Goals, referente a um modelo de</i>
MDG	<i>relatório de sustentabilidade</i>
	<i>Norma para padronização da automação de sistemas elétricos</i>
IEC61850	<i>industriais</i>
	<i>Objetivos de Desenvolvimento do Milênio</i>
ODM	<i>Operational Expenditure, relativo a investimentos para</i>
OPEX	<i>melhorar ou manter empreendimentos existentes</i>
	<i>Organização das Nações Unidas</i>
ONU	<i>Planejamento estratégico</i>
PE	<i>Planejamento estratégico da empresa</i>
PEE	<i>Planejamento Operacional</i>
PO	<i>Planejamento Tático</i>
PT	<i>Plano Diretor de Automação Industrial</i>
PDAI	<i>Internet of Things</i>
IoT	<i>Internet of Things, Services and People</i>
IoTSP	<i>Plano estratégico de tecnologia de informação</i>
PETI	<i>Poços de Aquisição Distribuídos</i>
PAD	<i>Programmable Logic Controller</i>
PLC	<i>Protocolo de comunicação baseado no meio Ethernet</i>
Modbus TCP	<i>Protocolo de comunicação baseado no meio Ethernet</i>

TCP/IP	<i>Protocolo de padronização internacional de comunicação para a indústria de processo</i>
OPC	<i>Purdue Enterprise Reference Architecture</i>
PERA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SCADA	<i>Tecnologia da Automação</i>
TA	<i>Tecnologia da Informação</i>
TI	<i>Tecnologia de Automação e Informação para Melhoria dos</i>
TAIMISEP	<i>Indicadores de Sustentabilidade na Extração de Potássio</i>
	<i>Tonelada por hora</i>
t/h	<i>Unidade Operacional de Taquari Vassouras</i>
UOTV	<i>Unidades de medida do sistema internacional</i>
m, Km, MW, TJ, GJ, t	

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	6
RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	14
1 INTRODUÇÃO	19
2 PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES E PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DE POTÁSSIO.....	23
2.1 HISTÓRIA DA ADUBAÇÃO	23
2.2 DEFINIÇÃO, COMPOSIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO ATUAL DOS FERTILIZANTES	26
2.3 PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES	30
2.4 MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE POTÁSSIO	35
2.4.1 EXTRAÇÃO DE POTÁSSIO POR DISSOLUÇÃO.....	35
2.4.2 EXTRAÇÃO DE POTÁSSIO POR LAVRA CONVENCIONAL.....	41
2.5 INDICADORES DE PRODUÇÃO E SUSTENTABILIDADE	46
2.5.1 INDICADORES DE PRODUÇÃO	48
2.5.2 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE.....	49
3 PROPOSTA E APLICAÇÃO DA METODOLOGIA - TAIMISEP	77
3.1 DESCRITIVO DA METODOLOGIA ADOTADA.....	77
3.2 A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA - TAIMISEP	92
3.2.1 ETAPA 1 – MAPEAS	93
3.2.2 ETAPA 2 – MAPEAMENTO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE FERTILIZANTES.....	97
3.2.3 ETAPA 3 – DEFINIÇÃO E ANÁLISE DOS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS	105
3.2.4 ETAPA 4 – IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS DO PROCESSO: CONTROLADAS E CONTROLADORAS.....	107
3.2.5 ETAPA 5 – DEFINIÇÃO DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE	109
3.2.6 ETAPA 6 – ANÁLISE COMPARATIVA DOS INDICADORES DEFINIDOS NA ETAPA 5 COM OS INDICADORES DEFINIDOS NA ETAPA 1.3 DE MAPEAS	110
3.2.7 ETAPA 7 – VERIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DE REDEFINIÇÕES	111

3.2.8	ETAPA 8 – IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS FATORES OU SUB PROCESSOS MENOS EFICIENTES	112
3.2.9	ETAPA 9 – ANÁLISE DE VIABILIDADE DE ALTERAÇÕES E INVESTIMENTOS (TÉCNICO E ECONÔMICO).....	117
3.2.10	ETAPA 10 – PROPOSTA DE PROJETO DE AUTOMAÇÃO	120
3.2.11	ETAPA 11 – ESTIMATIVA DE DESEMPENHO	129
3.2.12	ETAPA 12 – VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO DAS EXPECTATIVAS	131
4	CONCLUSÕES.....	132
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136

1 INTRODUÇÃO

Segundo Rocha e Pereira (2011), a relação da população com os recursos naturais ressurgiu como tema de fundamental importância na atualidade. Traz à tona um antigo debate que permeia as bases teóricas da ciência demográfica e da geografia da população: a relação entre o crescimento populacional e os recursos naturais.

Observe-se que em 1798 foi publicada a obra intitulada “*Essay on the of population as it affects the future improvement of society*” de Thomas Robert Malthus que é tida como um marco científico em relação ao tema crescimento populacional e a capacidade do meio ambiente em atender o crescimento da demanda por alimentos. Entretanto, embora este tema de estudo não seja caracterizado como novo vale ressaltar que até o presente momento a humanidade não encontrou soluções proporcionais ao tamanho da demanda por alimentos (HARVEY, 1981).

Visando aumentar a produtividade agrícola, a humanidade tem desenvolvido técnicas considerando o emprego de fertilizantes. A produção de fertilizantes, por sua vez é muito dependente do elemento potássio.

A IFA (*International Fertilizer Industry Association*) realizou estudo em que a demanda mundial de fertilizantes com o emprego de potássio dobrou entre 1973 e 2010, com utilização da ordem de 43 milhões de toneladas por ano (Mt/a) com estimativa de atingir 60Mt/a em 2015.

No Brasil o crescimento médio da demanda em toneladas por potássio na última década foi na ordem de 1,5% ao ano. O consumo de potássio em 2010 foi de 4,3 milhões de toneladas. Observe-se que o Brasil importa aproximadamente 90% de todo potássio empregado na produção de fertilizantes principalmente dos países Canadá, Rússia e Alemanha, segundo fonte de relatórios anuais da mineradora VALE S.A. (2010).

A Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA) estima um total de investimentos no mercado nacional de fertilizantes até o ano de 2017 de 18,9 milhões de dólares (MUSD). Considerando estes investimentos, a produção

brasileira seria em torno de 9,3 Mt/a de fertilizantes, porém ainda não sendo suficiente para suprir a demanda de 14,7 Mt/a conforme detalhado na tabela 1 deste trabalho.

Especificamente observando neste cenário previsto a produção de potássio chegaria ao patamar de 3,3 Mt/a até 2017, porém não será capaz de atender a demanda prevista de 5,2 Mt/a, conforme detalhado na tabela 1.

Tabela 1 – Produção Nacional X Demanda de Fertilizantes.

Nutrientes	2012			2017		
	Produção (mil t)	Demanda (mil t)	Déficit (%)	Produção Estimada (mil t)	Demanda Estimada (mil t)	Déficit (%)
Nitrogênio	880	3.543	75,1	2.001	4.272	53,2
Fósforo	2.220	4.372	49,2	4.052	5.237	22,6
Potássio	325	4.284	92,4	3.300	5.223	38,6
Total de Fertilizantes (NPK)	3.425	12.198	71,9	9.353	14.732	36,5

Fonte: Adaptado 2º Congresso Brasileiro de Fertilizantes 2012.

Os dados apresentados na tabela 1 indicam que o Brasil é deficitário na produção de fertilizantes e, portanto é um país caracterizado como importador no mercado internacional. Observe-se também que as projeções para 2017 de produção e demanda são ainda mais desfavoráveis.

Observe-se que como o Brasil é um dos principais produtores agrícolas do mundo, daí a obtenção da autossuficiência na produção de fertilizantes promoverá um significativo favorecimento da sua balança comercial.

Assim torna-se necessário também que o país invista em melhorias tecnológicas que possibilitem o incremento da produção interna em matérias primas para a produção de fertilizantes.

Este trabalho de pesquisa tem como principal objetivo propor e desenvolver uma metodologia com o emprego das tecnologias de automação e informação para fábricas produtoras de potássio que se implementada possibilitará:

- a) Aumento da produtividade;
- b) Redução da demanda de energia elétrica;
- c) Incremento de produção;
- d) Mitigação dos impactos ambientais.

Este trabalho de pesquisa está estruturado em 5 (cinco) capítulos.

O capítulo um apresenta a motivação e a estruturação deste trabalho de pesquisa.

O capítulo dois apresenta uma revisão da literatura e estudos a respeito de fertilizantes com enfoque principal no emprego do potássio no ramo agrícola, bem como as principais fábricas produtoras e os tipos de processo de extração e beneficiamento para a obtenção deste produto mineral no contexto mundial.

O capítulo três apresenta uma proposta de metodologia, denominada TAIMISEP, e aplicação em estudo de caso. A metodologia TAIMISEP utiliza a aplicação da TA e TI visando a melhoria dos indicadores de sustentabilidade na extração de potássio para a produção de fertilizantes.

O capítulo quatro apresenta a conclusão deste trabalho.

Finalmente, o capítulo cinco apresenta as referências bibliográficas.

A figura 1 apresenta a estrutura da presente dissertação.

Figura 1 – Diagrama representativo da Estrutura da Dissertação.

Fonte: Autora.

2 PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES E PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DE POTÁSSIO

2.1 HISTÓRIA DA ADUBAÇÃO

Dentre os princípios básicos para o desenvolvimento produtivo de um plantio, além de água e luz é um solo apropriado com quantidades adequadas de elementos nutritivos.

Solos para serem classificados como férteis devem ter capacidade de fornecer às plantas os nutrientes que elas necessitam e de forma equilibrada.

Quando os solos não possuem esta capacidade naturalmente, ou caso terem sido degradados devido a uma utilização desfavorável, uma alternativa como forma de garantir a produção é recorrer à utilização de corretivos naturais ou sintéticos.

O principal objetivo desse emprego é o de reestabelecer elementos químicos do solo para mantê-lo fértil após cada colheita, visando a manutenção e aumento da produtividade agrícola.

Os primeiros indícios da utilização pelo homem de práticas agrícolas, referem-se ao período Neolítico, por volta de 5500 A.C. Relata-se que os habitantes da região Mesopotâmia foram pioneiros na utilização de conceitos de irrigação a partir das águas dos rios Tigre e Eufrates para irrigar seus plantios.

O início da agricultura está ligado a uma série de transformações que levaram ao aparecimento das sociedades históricas, desde a mudança na forma de vida do homem, reduzindo sua condição nômade, tendendo a fixar-se num local. Com as sobras de produção criou-se um sistema primitivo de trocas de excedentes.

Os primeiros agricultores dispunham de conhecimento intuitivo e empírico para a realização dos plantios, como entendimento sobre os fatores ambientais do solo, clima, estações do ano, papel das sementes na reprodução vegetal e momento adequado para o plantio e colheita (ALMEIDA JR., 1995).

O Rio Amarelo foi um dos berços da civilização chinesa, de forma similar ao do rio Nilo foi para o Egito, é assim denominado devido à grande quantidade de sedimentos em suspensão que transporta formando depósitos em seu leito que fertilizam suas margens.

No Egito, por volta de 600 anos antes de Cristo, a civilização se aproveitava das cheias do rio Nilo, quando se depositava em suas margens uma camada de húmus com 20 m de profundidade, 15 km de largura e 800 km de extensão, para cultivar cevada, trigo e lentilha (DIAS, 2005).

Figura 2 – Ilustração da Agricultura no Egito Antigo às Margens do Rio Nilo.

24

Na América do Sul, povos da região Andina também eram grandes agricultores e conheciam técnicas sofisticadas de adubação. Para aumentar a extensão de área agrícola, construíam terraços com camadas de terras com cerca de 1 metro de profundidade. Os terraços, eram feitos de pedras encaixadas sem argamassa e recolhidas nos vales dos rios, que foram por eles retificados.

Outra evidência de conhecimento agrônômico de povos indígenas andinos empregavam nos plantios o guano, material rico em fosfato de cálcio, ureia, sulfato de sódio e potássio, resultante de uma mistura de fezes com restos de aves marinhas que eles buscavam no litoral do oceano pacífico no lombo animal (DIAS, 2005).

Observa-se que essas técnicas fundamentaram procedimentos de cultivo utilizados até hoje, melhorando-se misturas e processos químicos decorrentes da evolução dos estudos científicos nessa área.

Segundo Quartucci (2008) a adubação começou a ser tratada como negócio na Idade Média, na região compreendida entre a França, Bélgica e Holanda, conhecida como Flandres. Os agricultores adubavam as lavouras com esterco animal, lixo humano e lodo de esgoto. O consumo foi tal que as cidades da região foram consideradas as mais limpas da Europa.

O exemplo citado por Quartucci é uma importante confirmação de que a evolução dos estudos em determinadas áreas, de forma geral, é impulsionada pela expectativa de ganho econômico como incentivo de progresso pessoal ou de uma sociedade.

A prática da adubação com esterco animal espalhou-se rapidamente pelo continente, a tal ponto que o material tornou-se escasso. Em 1842, *Justus von Liebig* publicou *A química orgânica e suas aplicações à morfologia e patologia*, citado por Dias (2005), relatando que a nutrição vegetal é feita por meio dos elementos minerais do solo. A partir daí, surgiu a fórmula mundialmente conhecida como NPK composta dos elementos nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

2.2 DEFINIÇÃO, COMPOSIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO ATUAL DOS FERTILIZANTES

Fertilizantes por definição na legislação brasileira (Decreto 86.955, de 18 de fevereiro de 1982) são “substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes das plantas”.

Destaca-se a importância dos fertilizantes nitrogenados (N), fosfatados (P) e potássicos (K), que constituem a mistura NPK por se tratarem das deficiências mais comuns encontradas nos solos e essenciais para um cultivo saudável.

Segundo Gonçalves (2012) como importante componente das proteínas e da clorofila, o nitrogênio (N) frequentemente é fator primordial no aumento da produtividade agrícola. O fósforo (P) por sua vez é responsável pelos processos vitais das plantas, pelo armazenamento e utilização de energia, promove o crescimento das raízes e a melhora da qualidade dos grãos, além de acelerar o amadurecimento dos frutos. E o potássio (K) é responsável pelo equilíbrio de cargas elétricas no interior das células vegetais, inclusive pelo controle da hidratação e das doenças da planta.

Os elementos químicos presentes nos fertilizantes, conforme a quantidade ou proporção, podem ser divididos em duas categorias; os macronutrientes e os micronutrientes, ambas são compostas de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, divergindo somente na quantidade necessária a ser absorvida.

Todos os elementos têm a mesma importância no desenvolvimento da planta, entretanto os macronutrientes primários tornam-se deficientes no solo antes dos demais, pois são exigidos em maior quantidade (QUARTUCCI, 2008).

Os nutrientes indispensáveis são absorvidos pelas plantas em quantidades específicas, necessárias para o seu desenvolvimento e podem ser divididos de acordo com a concentração relativa nos tecidos da planta em micro e macronutrientes.

Os macro e micronutrientes estão disponíveis no meio ambiente em abundância. Elementos como Carbono, Hidrogênio e Oxigênio são assimilados pelas plantas com maior facilidade em relação aos demais. Por sua vez, o Nitrogênio, apesar de também disponível em abundância na atmosfera, não é diretamente absorvido pelas plantas, ou o processo de absorção é muito lento em relação à demanda.

Observa-se os principais macro e micronutrientes considerados nos fertilizantes:

a) Macronutrientes: Carbono, Hidrogênio, Oxigênio, Nitrogênio, Fósforo, Enxofre, Cálcio, Magnésio e Potássio;

b) Micronutrientes: Boro, Cobre, Ferro, Manganês, Cobalto, Molibdênio e Zinco.

Os Micronutrientes são utilizados pelas plantas em pequenas quantidades, porém sua falta pode acarretar em grandes perdas na produtividade.

A aplicação de micronutrientes pode ser feita via solo, incorporados às misturas granuladas, fertilizantes granulados e fertilizantes simples, como revestimento dos fertilizantes NPK, em aplicações via adubação fluida e irrigação via adubação foliar, pelo tratamento das sementes e pela aplicação em raízes e mudas (GIRACCA, 2014).

A tabela 2 informa a função dos principais macronutrientes necessários para o crescimento saudável de um plantio.

Tabela 2 – Função e percentual de concentração típica dos dos macro e micronutrientes para o crescimento das plantas.

Elemento e (Símbolo)	Função	% de Concentração Típica para o Crescimento das Plantas
Nitrogênio (N)	Absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação celular, diferenciação celular.	1,5
Fósforo (P)	Armazenamento e transferência de energia.	0,2
Potássio (K)	Regulação osmótica, controle de estômatos, síntese de proteínas.	1,0
Cálcio (Ca)	Ativação enzimática, absorção iônica, estrutura da membrana.	0,5
Magnésio (Mg)	Fotossíntese	0,2
Enxofre (S)	Fotossíntese, respiração, biossíntese, precursor do etileno, síntese proteica, fixação não fotossintética do CO ₂ .	0,1
Boro (B)	Controle hormonal	-
Cloro (Cl)	Fotossíntese	-
Cobalto (Co)	Síntese de proteínas e controle hormonal	
Cobre (Cu)	Fotossíntese, metabolismo de fenóis, regulação hormonal, respiração.	-
Ferro (Fe)	Assimilação do enxofre, síntese proteica, respiração, armazenamento.	-
Manganês (Mg)	Fotossíntese, metabolismo de ácidos orgânicos.	-

Fonte: Adaptado de Instituto da Potassa & Fosfato e EPSTEIN (1998).

Como definição elementos necessários ao desenvolvimento do plantio e que são adicionados pelos agricultores a suas plantações com o intuito de suprir deficiências do solo e aumentar a produtividade são conhecidos como fertilizantes.

Os fertilizantes podem ser classificados em três tipos:

- a) Fertilizante mineral: produto de natureza fundamentalmente mineral, natural ou sintético, obtido por processo físico, químico ou físico-químico, fornecedor de um ou mais nutrientes para as plantas;

- b) Fertilizante orgânico: produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, com base em matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais;
- c) Fertilizante organomineral: produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos.

Os fertilizantes minerais e orgânicos apresentam diferenças quanto à qualidade, concentração e origem, conforme tabela 3:

Tabela 3 – Diferenças entre os tipos de fertilizantes quanto a sua qualidade.

Características	Fertilizantes Orgânicos	Fertilizantes Minerais	Organomineral
Fonte dos Nutrientes	Esterco animal e resíduos da colheita	Nitrogênio do ar e minerais do solo	Mistura de Orgânicos e Minerais
Concentração dos Nutrientes	Baixa	Alta	Alta
Disponibilidade dos Nutrientes	Variável	Imediata	Imediata
Qualidade	Frequentemente Inconsistente	Determinável e Consistente	Determinável e Consistente

Fonte: Gonçalves (2012).

Assim, conclui-se que os fertilizantes minerais e os organominerais considerando a sua alta concentração, pronta disponibilidade, qualidade controlada devido a mistura criada com base na necessidade estipulada pelo cliente são mais eficientes em comparação com os orgânicos. A diferença dos organominerais e os minerais é a necessidade de uma análise mais profunda para preparar a mistura correta o que impacta em custos mais elevados para sua obtenção em comparação com os minerais.

2.3 PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES

Segundo Quartucci (2008) a primeira fábrica de fertilizantes que se tem notícias surgiu em 1843 na Inglaterra, com a fabricação de superfosfato simples. Entretanto, um importante avanço na área de desenvolvimento científico para a produção fertilizantes ocorreu com a síntese da amônia, possibilitando o surgimento dos adubos nitrogenados.

A figura 3 ilustra a fotografia da primeira fábrica produtora de amônia localizada na cidade de Ludwigshafen na Alemanha, fundada em 1913 pela empresa química denominada BASF SE (*Badische Anilin-und Soda-Fabrik*).

Figura 3 – Fotografia Aérea de primeira fábrica produtora de amônia em escala da BASF em Ludwigshafen na Alemanha.

Fonte: Obtido em <<http://www.makingthemodernworld.org.uk>> (30/09/2014).

Na década de 40 no século XX, a indústria de fertilizantes foi impulsionada, devido ao nitrogênio ser um dos principais componentes do trinitrotolueno (TNT) e de outros explosivos. O governo dos EUA construiu 10 (dez) novas usinas com o objetivo de produzir nitrogênio para os armamentos bélicos.

Após o término da Segunda Guerra Mundial em 1945, reduziu-se a produção das fábricas de armamentos e, visando aproveitar essa infraestrutura existente, foram redirecionadas a produzir amônia para utilização como fertilizantes. Assim, pelo aumento da oferta o uso de fertilizantes cresceu, e também devido a agricultores e especialistas valorizarem os resultados obtidos.

A cadeia de suprimentos total de produção de fertilizantes tem como fornecedor primário o meio ambiente até o mercado final. O fluxo de produção está dividido nas seguintes fases: meio ambiente, matérias-primas básicas, produtos intermediários, fertilizantes básicos, produto final (misturas) e distribuição/comercialização.

A partir de petróleo, gás natural, resíduos pesados e NAFTA obtém-se a matéria prima amônia. O enxofre e a rocha fosfática são matérias primas retiradas diretamente do solo.

Os produtos intermediários são os ácidos: sulfúrico, nítrico e fosfórico.

Observa-se então a produção dos fertilizantes potássicos (cloreto de potássio), nitrogenados (nitrato de amônia, ureia, nitrocálcio) e fosfatados (fosfato de amônia, superfosfato simples, superfosfato triplo).

Por fim, na terceira atividade as matérias-primas e fertilizantes básicos e misturados para obter-se já referido composto de Nitrogênio, Fósforo e Potássio conhecido como NPK.

Observa-se que o potássio (K) base para formulação da mistura de NPK, é obtido diretamente de sua matéria prima, a rocha potássica.

Segundo Schroeder (1979), o potássio é o sétimo elemento mais comum encontrado na crosta terrestre, estando largamente distribuído. Porém, devido a sua alta reatividade e afinidade com outros elementos não ocorre em sua forma elementar, requerendo processos industriais.

O elemento potássio (K) é encontrado em rochas, solos, oceanos, lagos e salinas residuais de lagos salgados, embora nestas ocorrências raramente seja

observado um teor superior a 10%. Teores mais elevados são observados nos minerais evaporíticos e nos silicatos de potássio.

Os minérios evaporíticos originaram-se na evaporação de antigos mares e lagos, que secaram ao longo dos tempos da antiguidade, sedimentando em seus leitos depósitos de sais de potássio e outros sais. Depósitos de materiais se sobrepuseram ao longo dos séculos, de forma que hoje se apresentam espessas camadas de rochas. Por esta razão, uma das maiores dificuldades da mineração de potássio é extrair o minério de profundidades que podem ser encontradas por volta de dois mil metros (MORAIS NETO, 2010).

A tabela 4 apresenta os principais minerais que permitem a obtenção de potássio formados a partir de antigos lagos e extensos depósitos de origem marinha.

Tabela 4 – Principais Minerais para a Obtenção de Potássio.

Minerais	Fórmula Química
Silvita	KCl
Carnalita	KCl.MgCl ₂ .H ₂ O
Silvinita	KCl + NaCl
Kainita	4 KCl.4MgSO ₄ .H ₂ O
Arcanita	K ₂ SO ₄
Glaserita	3 K ₂ SO ₄ Na ₂ SO ₄
Langbeinita	K ₂ SO ₄ .2Mg SO ₄
Leonita	K ₂ SO ₄ . 2MgSO ₄ .4H ₂ O
Polyhalita**	K ₂ SO ₄ .MgSO ₄ .2CaSO ₄ .2H ₂ O

Fonte: Nascimento, Monte e Lapido-Loureiro (2004).

Os minerais Silvita e a Carnalita são os mais largamente processados na indústria de fertilizante para a obtenção de potássio. Outros, menos explorados, principalmente, devido ao teor de potássio e dificuldade para obtenção do potássio como os sulfatos Langbeinita, Polihalita e Kainita. A maioria dos minerais contendo potássio em sua rede cristalina são insolúveis e o processo de dissolução só é possível a partir de forte ataque químico acompanhado de tratamento térmico e desconsiderados para a produção de fertilizantes (NASCIMENTO e LAPIDO-LOUREIRO, 2004).

Os fertilizantes podem se apresentar de diversas formas para o consumo final: em grãos, em pó, misturados ou não etc. A mistura geralmente consiste em reunir diversos ingredientes para atender às necessidades de N, P e K na formulação desejada. O processo pode ser realizado com pó, farelo ou grânulos, geralmente de forma rudimentar. A figura 4 ilustra a cadeia suprimentos total de produção de fertilizantes.

Figura 4 – Diagrama de processo para a obtenção da Mistura NPK.

Fonte: Adaptado de Fertilizer Institute (1980).

Segundo Martins et al (2008) a produção de potássio no Brasil foi iniciada em 1985 está restrita ao Complexo Mina/Usina Taquari-Vassouras ilustrada na figura 5, no Estado de Sergipe, operado pela VALE S.A. Esta é até o momento a única mina em operação que, em 2012 atendeu menos de 10% das necessidades do País de sais de potássio.

A produção se dá por meio de lavra subterrânea convencional, sendo o minério silvinita, obtido através do método câmaras e pilares retangulares, com beneficiamento por de flotação.

Há poucos projetos em andamento no Brasil visando a diminuição da dependência do mercado internacional com o aumento da capacidade do país a partir de depósitos evaporíticos. Dentre eles, destaca-se o projeto Carnalita, em Sergipe.

Figura 5 – Fotografia Aérea da Unidade Operacional de Taquari Vassouras.

Fonte: Obtido em <<http://www.revistamineros.com.br>> (25/02/2015).

O mineral carnalita, contendo cloretos de potássio e magnésio, começou a ser explorado em 1851 na mina de Stassfurt, na Alemanha. Após dez anos, Adolph Frank (SCHULTZ, 1993) desenvolveu um processo para a produção de sal de potássio, a partir da carnalita, com pleno uso do produto, como fertilizante.

Outras inovações tecnológicas de impacto similar e a descoberta de novas minas, conferiram à Alemanha a hegemonia do mercado de fertilizantes potássicos, o que perdurou até o início da década de 30 do século XX (NASCIMENTO e LOUREIRO, 2004).

2.4 MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE POTÁSSIO

Segundo Nascimento, Monte, Loureiro (2004) os métodos usualmente empregados mundialmente para a extração de potássio são:

- a) Método por dissolução (por volta de 12% da produção mundial);
- b) Método de lavra convencional seguida do processo de flotação (82% da produção mundial);

O processo de extração por dissolução é normalmente empregado quando a profundidade dos depósitos é superior 1400m. Esta técnica possui algumas vantagens como, por exemplo, a eliminação do custo da perfuração da lavra, assim o custo inicial para a exploração é significativamente inferior em comparação com o método convencional.

Minérios de potássio em leitos sólidos, a profundidades até 1400m, são extraídos principalmente por métodos convencionais de extração.

2.4.1 EXTRAÇÃO DE POTÁSSIO POR DISSOLUÇÃO

Para ilustrar o processo de extração por meio do método de dissolução, *solution mining* do inglês, foi escolhido o mineral Carnalita, cuja a composição química é $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, visando obter o minério cloreto de potássio (KCl) devido a ocorrência em abundância no nordeste brasileiro, especificamente no estado do Sergipe e ser objeto de estudo para implantação de fábrica pela mineradora VALE S.A.

A figura 6, ilustra o processo produtivo por dissolução para extração de KCl a partir do mineral Carnalita.

Figura 6 – Fluxograma do processo produtivo por dissolução para extração de KCl a partir do mineral Carnalita.

Fonte: Adaptado de VALE S.A (2011).

Designa-se como MINA o local onde são dispostos os poços a serem perfurados. Os poços são agrupados em pares e denominados Poços de Aquisição Distribuídos (PAD). Cada PAD é dotado de uma estrutura denominada *árvore de instrumentação* conforme figura 7.

Figura 7 – Fotografia de Estrutura denominada Árvore de Instrumentação dos Poços.

Fonte: VALE S.A. (2011).

O método de extração por dissolução é muito similar a um dos processos de extração de petróleo, sendo este aplicado em rochas evaporíticas solúveis como a Carnalita, e utiliza água aquecida a cerca de 30 °C como solvente para o mineral. A água do mar é bombeada por tubulação adutora, e injetada nos poços na tubulação interna conforme figura 8 e extraída pela tubulação externa a salmoura enriquecida.

Figura 8 – Estrutura de poços de extração de KCl de uma Mina de Dissolução.

Fonte: Adaptado de VALE S.A (2011).

A água aquecida e injetada torna-se um solvente com propriedade para extrair a carnalita da rocha a mais de 1400m de profundidade. Obtém-se nesse processo uma mistura denominada salmoura enriquecida que é recuperada do poço.

A elevada pressão de recalque de injeção de água nos poços pode provocar desmoronamento da estrutura do poço. O maciço de exploração recebe injeção de *blanket*, material que se constitui de nitrogênio a baixas temperaturas, para consolidar e promover uma proteção do processo pelo aumento de sua estabilidade.

A figura 8 ilustra o funcionamento inicial do poço, denominado período de maturação dos poços em inglês conhecido como “*Early Works*”, pois nesta fase a água é injetada (tubulação interna) e retirada pela mesma estrutura (tubulação externa) de um único poço.

A figura 9 apresenta um detalhe da tubulação de um poço na sua fase inicial de maturação.

Figura 9 – Detalhe da estrutura de poços de uma Mina de Dissolução em sua fase de maturação.

Fonte: Adaptado de VALE S.A (2011).

Após a maturação a caverna de cada poço irá aumentar de tal forma que irá se unir com o referido poço par e a partir deste momento é retirada a tubulação interna, e a água do mar será injetada por um poço e a salmoura será retirada pelo seu poço par, conforme figura 10.

Figura 10 – Cavernas unidas após o período de maturação dos poços.

Fonte: Adaptado de VALE S.A (2011).

Na sequência do processo a salmoura é bombeada para 5 (cinco) estágios de evaporação com 300t/h de vapor, o qual aciona uma cogeração de energia na ordem de 2 (duas) turbinas de 30MW que permite alimentar o processo total da fábrica e ainda ser capaz de gerar um excedente para a rede 20MW.

O cloreto de potássio para o consumo é obtido na cristalização, com 4 (quatro) linhas adiabáticas, 2 (duas) linhas de resfriamento e analisador nuclear do tipo K40. Essa etapa do processo é similar a um processo químico de obtenção de celulose.

Posteriormente o cloreto de potássio irá passar por um processo de 2 (duas) linhas de secagem visando a retirada da umidade residual e passa por processo de compactação para alcançar granulometria especificada para a entrega do KCl.

A maturação dos poços além da formação das cavernas entre os poços pares também considera o tempo para atingir o teor esperado de Carnalita obtida na forma de salmoura enriquecida, estima-se que o mesmo dure por volta de 01 (um) ano antes da partida da fábrica, conforme informado pela Vale S.A. (2011).

Outra particularidade deste processo de extração por dissolução é a possibilidade de novos poços serem explorados e utilizarem a mesma infraestrutura de PADs (tubulação, instrumentação e etc), e também alguns poços previamente explorados podem voltar a serem explorados durante a vida útil da área de extração da Mina e ter um melhor aproveitamento dos depósitos.

2.4.2 EXTRAÇÃO DE POTÁSSIO POR LAVRA CONVENCIONAL

O processo de extração por lavra convencional de potássio inicia-se com extração das rochas com o cloreto de potássio no maior tamanho possível, visando facilitar a liberação do cloreto de sódio (NaCl) e a lavagem das insolúveis liberados durante o processo.

Parte da mina de Lanigan da Potash Corp., Canadá, pode ser observada na figura 11.

Figura 11 – Fotografia da Mina de Lanigan, Canadá.

Fonte: Obtido em <<http://www.potashcorp.com>> (06/04/2015).

A etapa inicial do processamento se inicia ainda na mina com a redução controlada do minério em britador tipo mandíbula, conforme figura 12. Nesse equipamento, no nível de extração, reduz-se rocha desmontada a frações a dimensões da ordem de 150 a 200 milímetros, para permitir transporte de elevação a partir do nível subterrâneo.

Figura 12 – Ilustração do Equipamento Britador tipo Mandíbula.

Fonte: Obtido em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAww8AI/manual-mineracao?part=5>> (28/05/2015).

Na superfície, dependendo das especificações e tecnologia de processo, o minério pode ser reprocessado em britador secundário visando atingir granulometria com frações de tamanho necessário para seguir com o processo.

Em diversos tipos de rochas de potássio existem partes minerais insolúveis que podem ser liberadas por meio do processo de lavagem. Durante essa fase, realiza-se a lavagem do minério, injeta-se água e separam-se os insolúveis em ciclones, ou filtros úmidos.

Para ocorrer o processo de deslamagem adicionam-se flocculantes para aumentar o tamanho das partículas da lama antes do início da flotação. Essa fase é

considerada crítica, pela importância de obter um produto com o menor teor possível de lama, para minimizar a utilização de reagentes na fase de flotação e assegurar uma melhor recuperação do potássio.

Após a separação das frações grossa e fina, realiza-se o controle granulométrico do material, a fim de otimizar o uso do reagente e promover a flotação de partículas grossas. Nesse processo adiciona-se óleo de diluição no condicionamento da fração grossa.

Como os minérios de potássio contêm sais solúveis em água, a flotação deve utilizar uma solução salina saturada, tornando um sistema de eletrolítico altamente concentrado.

Como resultado da flotação obtém-se um concentrado de KCl+ NaCl, objeto intermediário do processo de produção dessa matéria prima e os demais elementos são rejeitados.

Na fase seguinte, de cristalização, separa-se o produto final, o Cloreto de Potássio. Mistura-se o cloreto de potássio com água aquecida entre 100 a 110 °C, a agitação promove a dissolução seletivamente dos componentes silvita (KCl) da halita (NaCl). A halita não dissolvida e demais insolúveis remanescentes são removidos em um clarificador.

O NaCl é separado para passar por tratamento com adição de água para reduzir sua concentração, resultando em solução em níveis e em condições biofísicoquímicas compatíveis para mitigar impactos ambientais.

É realizada então a secagem da Silvita, isto é a retirada da umidade residual do produto, sendo o potássio classificado e compactado, de acordo com o seu teor. Assim, finaliza-se o processo com o produto pronto para ser utilizado como matéria prima para formulação de fertilizante. A classificação é realizada como ilustra a figura 13.

Figura 13 – Ilustração de um Equipamento Classificador.

Fonte: Perucca (2000).

A figura 14 ilustra o processo produtivo simplificado pelo método convencional de lavra para extração de KCl a partir do mineral Silvinita. As entradas e saídas dos blocos apresentadas no fluxograma também estão simplificadas para facilitar o entendimento deste processo.

As informações para a descrição do processo de extração de potássio pelo método convencional foram obtidas do artigo *Potash Processing in Saskatchewan – A Review of Process Technologies* (PERUCCA, 2000).

Figura 14 – Fluxograma simplificado de um processo convencional de extração de KCL.

Fonte: Adaptado de Perucca (2000).

2.5 INDICADORES DE PRODUÇÃO E SUSTENTABILIDADE

A produção mundial de potássio é da ordem de 35 milhões de toneladas por ano, como se observa na tabela 5.

Cerca de 95% do potássio produzido no mundo é destinado a agricultura, os 5% restantes possuem diversas aplicações industriais como: produção de vidro, sabão, plástico e indústria farmacêutica, segundo dados obtidos no *CIM Bulletin*, produzido pelo *Canadian Institute of Mining*.

O Canadá possui aproximadamente 10 bilhões de toneladas de reservas com viabilidade para a extração de potássio, notadamente na província de *Saskatchewan*, o que representa cerca de 60% das reservas de potássio globais. Ao longo dos últimos anos o Canadá mantém sua posição de maior produtor mundial de potássio, conforme se observa na tabela 5, com destaque para a região da província de *Saskatchewan*.

Tabela 5 – Produção Mundial de Potássio.

Países Produtores	Produção de Potássio Mundial (em Mt)	
	Ano 2013	Ano 2014
Canadá	10,10	9,80
Rússia	6,10	6,20
China	4,30	4,40
Bielorrússia	4,24	4,30
Alemanha	3,20	3,00
Israel	2,10	2,50
Jordânia	1,08	1,10
Chile	1,05	1,10
Estados Unidos	0,96	0,85
Inglaterra	0,47	0,47
Brasil	0,43	0,35
Espanha	0,42	0,42
Outros Países	-	0,15
Total Mundial	34,45	34,64

Fonte: U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries (2015).

A empresa *British Sulphur Corp* (1984) relatou a que importância da província de *Saskatchewan* também é histórica, pois o minério potássio foi descoberto na região em 1940, enquanto se perfuravam poços para obtenção de petróleo.

O potássio produzido em *Saskatchewan* em sua maioria é destinado para exportação. O EUA é o principal consumidor importando cerca de 52% do total produzido, os demais 43% vão para os mercados externos, inclusive para o Brasil, sendo somente 5% da produção permanece para utilização e consumo no Canadá (PERUCCA, 2000).

A primeira mina convencional iniciou a produção em 1962, e em 1964 a primeira mina por dissolução foi inaugurada perto da região de Belle Plaine. Em 1971, todas as dez minas existentes em *Saskatchewan* já estavam em operação.

A tabela 6 apresenta as fábricas existentes na província de Saskatchewan, sendo 8 (oito) fábricas em operação pelo do método convencional de extração e 2 (duas) fábricas utilizando o método por dissolução.

Tabela 6 – Métodos de Produção de Potássio em Saskatchewan – Canadá.

Empresa Produtora	Localização	Método de Extração
Agrium Inc.	Vanscoy	Convencional
Mosaic Co.	Belle Plaine	Dissolução
Mosaic Co.	Colonsay	Convencional
Mosaic Co.	Esterhazy (K1)	Convencional
Mosaic Co.	Esterhazy (K2)	Convencional
Potash Corp.	Allan	Convencional
Potash Corp.	Cory	Convencional
Potash Corp.	Patience Lake	Dissolução
Potash Corp.	Lanigan	Convencional
Potash Corp.	Rocanville	Convencional

Fonte: Perucca (2000).

Segundo Slack (2002), a produção é a função central das organizações já que é aquela que vai se incumbir de alcançar o objetivo principal da empresa, ou seja, sua razão de existir.

Todo processo produtivo tem como objetivo gerar um produto final, mas produzem também rejeitos que precisam ser descartados.

Para preservar o ambiente, podem obter-se índices de sustentabilidade ao longo da cadeia produtiva, pela monitoração dos gastos de energia, de matéria-prima e de produção de resíduos é essencial para obtenção dos índices de sustentabilidade que permitem gerar a identificação de melhorias no processo (ZÜGE, 2014).

2.5.1 INDICADORES DE PRODUÇÃO

Para ilustrar os indicadores de produção de uma fábrica produtora de potássio utilizando o método por dissolução, foi escolhida a fábrica de *Patience Lake* da *Potash Corp*, apresentada na tabela 7 e para ilustrar os indicadores de produção de uma fábrica produtora de potássio utilizando o método convencional, foi escolhida a fábrica de *Lanigan* da *Potash Corp*, apresentada na tabela 8. A razão da escolha de ambas as fábricas é devido a alguns fatores como: a quantidade e qualidade das informações apresentadas no relatório anual da empresa, por cada uma utilizar ambos os métodos de extração pela mesma empresa de referência, serem as mais atuais da região, também devido a empresa *Potash Corp* ser a líder mundial em produção de potássio e sua produção na região de Saskatchewan representar 1/5 (um/quinto) da capacidade mundial (RELATÓRIO ANUAL DA POTASH CORP. INC., 2014).

São apresentados 3 (três) indicadores de capacidade: Nominal, Operacional e Produção Efetiva.

Capacidade nominal é a diretriz de dimensionamento do projeto da fábrica quanto a sua capacidade de produção. Implica em fatores de segurança dimensional e estrutural dos equipamentos e instalações.

Já a capacidade operacional é quanto o processo efetivamente produz em regime de operação, levando-se em conta a influência de fatores como: performance dos equipamentos, tempo de paradas para manutenção e/ou atualização do sistema de controle e falhas no processo.

E por sua vez, a produção efetiva é quanto foi produzido de acordo a demanda do mercado dentro dos limites da capacidade operacional.

São apresentados também os recursos humanos alocados, referidos como a quantidade de funcionários expressa na coluna “Núm. de Empregados”, a *performance* de segurança subdivida em frequência de perda de tempo apresentada como “Freq. de perda de tempo” e registro de frequências das ocorrências apresentadas como “Registro de Freq.” relativos a cada produção anual.

Tabela 7 – Indicadores de Produção de Fábrica Produtora de Potássio – Patience Lake, por método de extração por dissolução.

Ano	Produção (em Mt de KCl)			Empregos (Qtd)	Performance de Segurança (por 200.000 h)	
	Capacidade Nominal	Capacidade Operacional	Produção Efetiva	Núm. de Empregados	Freq. de perda de tempo	Registro de Freq.
2011	1,03	0,50	0,39	95,00	0,00	3,40
2012	1,03	0,41	0,29	94,00	0,00	3,40
2013	1,30	0,30	0,27	92,00	0,00	1,10

Fonte: Relatório Anual Potash Corp da Fábrica de Patience Lake (2014).

Tabela 8 – Indicadores de Produção de Fábrica Produtora de Potássio - Lanigan, por método de extração convencional.

Ano	Produção (em Mt de KCl)			Empregos (Qtd)	Performance de Segurança (por 200.000 h)	
	Capacidade Nominal	Capacidade Operacional	Produção Efetiva	Núm. de Empregados	Freq. de perda de tempo	Registro de Freq.
2011	3,83	3,40	3,04	588,00	0,30	2,60
2012	3,83	3,29	1,65	596,00	0,00	2,00
2013	3,80	3,40	2,24	595,00	0,00	2,00

Fonte: Relatório Anual Potash Corp da Fábrica de Lanigan (2014).

2.5.2 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

A sustentabilidade de um processo considera os impactos vinculados à sua realização. Para essa caracterização, consideram-se de indicadores relacionados ao consumo de energia e produção de resíduos e rejeitos. Os indicadores de sustentabilidade utilizados neste trabalho e descritos a seguir referem-se às mesmas unidades industriais para os indicadores de produção.

Visando permitir uma melhor análise classificaram-se segundo as seguintes características: Emissão de Gases, Geração de Resíduos (sólidos e líquidos), Consumo de Água e Consumo de Energia.

Nas tabelas 9 e 10 apresentam-se os indicadores de sustentabilidade relativos a Emissão de Gases das fábricas de *Patience Lake* e *Lanigan* da *Potash Corp.* respectivamente. São apresentadas a quantidade de Gases do Efeito Estufa (GEE) gerados por ambos os processos em toneladas e os GEE normalizados, isto é, quantidade de Gases do Efeito Estufa gerados em toneladas divididos pela respectiva quantidade de produção em toneladas.

Apresentam-se também a quantidade de outros gases poluentes gerados pelo processo produtivo de ambas as fábricas como: Óxido de Nitrogênio, Monóxido de Carbono, Particulados (micro resíduos sólidos em aspersão no ar) e Componentes Orgânicos Voláteis referidos como “Comp. Orgânicos Voláteis”.

Tabela 9 – Indicadores de Sustentabilidade – Emissão de Gases de Fábrica Produtora de Potássio – Patience Lake, por método de extração por dissolução.

Ano	GEE		Emissão Gases de Poluentes (em t)			
	GEE (em t)	GEE Normalizados (GEE/t produção)	Óxido de Nitrogênio	Monóxido de Carbono	Particulados	Comp. Orgânicos Voláteis
2011	46,40	0,12	42,90	34,60	123,40	2,20
2012	73,90	0,25	65,80	54,60	157,20	3,30
2013	68,90	0,25	60,00	50,00	202,00	3,00

Fonte: Relatório Anual Potash Corp da Fábrica de Patience Lake (2014).

Tabela 10 – Indicadores de Sustentabilidade – Emissão de Gases de Fábrica Produtora de Potássio - Lanigan, por método de extração convencional.

Ano	GEE		Emissão Gases de Poluentes (em t)			
	GEE (em t)	GEE Normalizados (GEE/t produção)	Óxido de Nitrogênio	Monóxido de Carbono	Particulados	Comp. Orgânicos Voláteis
2011	117,30	0,04	89,00	170,00	1222,70	236,00
2012	65,60	0,04	71,00	133,00	995,00	134,00
2013	92,69	0,04	109,00	188,00	1085,00	183,00

Fonte: Relatório Anual Potash Corp da Fábrica de Lanigan (2014).

As tabelas 11 e 12 apresentam os indicadores de sustentabilidade relativos a resíduos sólidos gerados nas fábricas de *Patience Lake* e *Lanigan* da *Potash Corp.* respectivamente. Discriminam-se quantidades de resíduos grossos gerados no armazenamento, resíduos finos e a quantidade de sal encontrado na salmoura, referidos em toneladas.

Tabela 11 – Indicadores de Sustentabilidade – Resíduos Gerados de Fábrica Produtora de Potássio – Patience Lake, por método de extração por dissolução.

Ano	Resíduos Sólidos Gerados (em t)		
	Resíduos grossos no armazenamento	Resíduos finos no armazenamento	Sal na Salmoura
2011	48,90	0,00	546,20
2012	33,10	0,00	102,30
2013	39,00	0,00	351,00

Fonte: Relatório Anual Potash Corp da Fábrica de Patience Lake (2014).

Tabela 12 – Indicadores de Sustentabilidade – Resíduos Gerados de Fábrica Produtora de Potássio - Lanigan, por método de extração convencional.

Ano	Resíduos Sólidos Gerados (em t)		
	Resíduos grossos no armazenamento	Resíduos finos no armazenamento	Sal na Salmoura
2011	4031,00	795,00	1393,00
2012	1686,00	424,00	637,00
2013	3238,00	985,00	1047,00

Fonte: Relatório Anual Potash Corp da Fábrica de Lanigan (2014).

As tabelas 13 e 14 apresentam os indicadores de sustentabilidade relativos a quantidade de Água Utilizada nas fábricas de *Patience Lake* e *Lanigan da Potash Corp.* respectivamente. Apresentam-se também o consumo e a quantidade de água reciclada anualmente em cada processo, em m³.

Tabela 13 – Indicadores de Sustentabilidade – Quantidade de Água Utilizada em Fábrica Produtora de Potássio – Patience Lake, por método de extração por dissolução.

Ano	Água Utilizada (em m ³)	
	Consumo	Água Reciclada
2011	465,00	174591,00
2012	373,00	24528,00
2013	510,00	23173,00

Fonte: Relatório Anual Potash Corp da Fábrica de Patience Lake (2014).

Tabela 14 – Indicadores de Sustentabilidade – Quantidade de Água Utilizada em Fábrica Produtora de Potássio - Lanigan, por método de extração convencional.

Ano	Água Utilizada (em m ³)	
	Consumo	Água Reciclada
2011	3303,00	3075,00
2012	1989,00	1458,00
2013	2329,00	2566,00

Fonte: Relatório Anual Potash Corp da Fábrica de Lanigan (2014).

As tabelas 15 e 16 apresentam os indicadores de sustentabilidade relativos a quantidade Energia Consumida nas fábricas de *Patience Lake* e *Lanigan da Potash Corp.* respectivamente. Apresentam-se o custo em Milhões de Dólares Canadenses (MCAD), o consumo de Energia em TJ e a Eficiência Energética, isto é a quantidade de energia consumida por tonelada produzida.

Tabela 15 – Indicadores de Sustentabilidade – Energia Consumida de Fábrica Produtora de Potássio – Patience Lake, por método de extração por dissolução.

Ano	Energia Consumida		
	Custo (em MCAD)	Consumo de Energia (em TJ)	Eficiência Energética (GJ/t de produção)
2011	4,30	1129,00	2,90
2012	8,10	1662,00	5,70
2013	9,70	1587,00	5,80

Fonte: Relatório Anual Potash Corp da Fábrica de Patience Lake (2014).

Tabela 16 – Indicadores de Sustentabilidade – Energia Consumida de Fábrica Produtora de Potássio - Lanigan, por método de extração convencional.

Ano	Energia Consumida		
	Custo (em MCAD)	Consumo de Energia (em TJ)	Eficiência Energética (GJ/t de produção)
2011	30,80	3457,00	1,10
2012	15,70	2077,00	1,30
2013	26,80	2872,00	1,30

Fonte: Relatório Anual Potash Corp da Fábrica de Lanigan (2014).

Os indicadores de sustentabilidade ambientais no processo de extração de potássio: Emissão de Gases do Efeito Estufa, Emissão de Gases Poluentes, Resíduos Sólidos Gerados, Quantidade de Água Utilizada e Energia Consumida, são o objeto de estudo desta dissertação. Existem outros indicadores, sendo o critério de escolha o grande impacto potencial no meio ambiente caso não sejam consumidos e/ou gerados de maneira sustentável.

2.5.2.1 TÓPICOS GERAIS DE SUSTENTABILIDADE

Desde 1987 com o relatório de Brundtland, também conhecido como *Our Common Future* emitido pela ONU (Organização das Nações Unidas) sobre o meio ambiente e desenvolvimento no qual definiu-se sustentabilidade como “*Satisfying the needs of the present generation without compromising the chance for future generations to satisfy theirs*”, tem se levado em consideração o conceito operacional de desenvolvimento sustentável, este no qual teve como objetivo demonstrar que é possível alcançar o desenvolvimento econômico e social, almejado pelos seres humanos, com o necessário e indispensável cuidado e atenção com o meio ambiente, de forma a não gerar passivos ambientais, nem sociais, tanto no presente e sequer no futuro (VILLAS BÔAS, 2011).

Em 1992 a Agenda 21, que foi o resultado da Conferência Internacional das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, ressaltou a necessidade de pesquisar e desenvolver novas ferramentas para a avaliação da sustentabilidade nas operações econômicas (BELLEN, 2005).

O conceito de sustentabilidade estrutura-se sobre 03 (três) pilares: Crescimento Econômico, Progresso Social e Equilíbrio Ecológico. A figura 15 ilustra um *diagrama de Veen* destes pilares e permite-se observar que a zona ótima é encontrada na intersecção dos conjuntos, sugerindo-se um equilíbrio entre os pilares para que seja possível atingir o patamar de desenvolvimento sustentável desejado.

Figura 15 – Diagrama de Veen dos Pilares da Sustentabilidade.

Fonte: Autora.

Simão Filho e Pereira (2014) apresentam que “Em resumo o modelo de desenvolvimento sustentável pode ser representado como um bloco suportado por três pilares: desenvolvimento econômico, meio ambiente e desenvolvimento humano”. A figura 16 ilustra o modelo referenciado.

Figura 16 – Ilustração do Modelo de Desenvolvimento Sustentável.

Fonte: Adaptado de SIMÃO FILHO e PEREIRA (2014).

Em sua busca por sobrevivência, a necessidade fez o homem aprender a observar a natureza e tentar reproduzir, controlar e transformar diferentes eventos. Para tanto, utilizando sua criatividade, ele desenvolveu ferramentas e processos artificiais a fim de atingir seus objetivos de transformação e controle de processos (SIMÃO FILHO e PEREIRA, 2014).

Segundo Ogata (2003), “processo é uma operação ou desenvolvimento natural que evolui progressivamente, caracterizado por uma série de mudanças graduais que se sucedem umas em relação às outras, de um modo relativamente estável e objetivando um particular resultado ou meta; ou uma operação artificial ou voluntária, que se constitui por uma série de ações controladas ou movimentos sistematicamente dirigidos objetivando um particular resultado ou meta. Processo é toda operação a ser controlada”.

Os processos produtivos são compostos de um ou diversos subprocessos, que geram impactos e recebem influência da sociedade no qual está inserido, na atividade econômica da região e conseqüentemente no meio ambiente. A figura 17 ilustra o modelo relacional entre as macro variáveis de entradas e saídas de um processo produtivo genérico. Observa-se a representação da relação dos pilares da sustentabilidade com efeito no processo produtivo através das variáveis de

sustentabilidade e também os impactos gerados pelas saídas dos processos produtivos através dos efeitos de sustentabilidade (SIMÃO FILHO e PEREIRA, 2014).

Figura 17 – Diagrama de blocos de um processo produtivo genérico.

Fonte: Züge (2014), adaptado de Pereira (2009).

Observa-se que todo processo produtivo demanda variáveis físicas de entrada: energia, matérias-primas e recursos humanos e que gera, ao lado de seu produto ou serviço, lixo e sucata (PEREIRA, 2009).

Sugere-se também que a Tecnologia da Informação (TI) e a Tecnologia da Automação (TA) podem contribuir, de forma significativa, para que processos produtivos sejam menos impactantes ao meio ambiente. Entretanto, para que os melhores benefícios da TI e da TA sejam obtidos, é necessário que os primeiros estágios de definição dos projetos materializados no Plano Diretor da Automação Industrial (PDAI) já tenham um perfeito alinhamento com a sustentabilidade (ZÜGE, 2014).

2.5.2.2 MODELOS DE RELATÓRIOS DE SUSTENTABILIDADE

O tópico sustentabilidade tem ganhado ênfase nas corporações. É possível observar uma grande quantidade de empresas, no caso das de grande porte praticamente se tornou um pré-requisito para a venda de suas ações em bolsas de valores internacionais, e estas passaram a utilizar relatórios versando sobre o assunto (ZÜGE, 2014).

Segundo a KPMG *Internacional* (2011), as empresas começaram a perceber que os relatórios de sustentabilidade significam mais do que passar uma boa imagem para a sociedade. Estes relatórios direcionam a inovação e promovem o aprendizado, o que auxilia no crescimento do negócio e aumento do valor da organização. Os relatórios de sustentabilidade têm sido usados para a descoberta de novas oportunidades de melhoria e para o desenvolvimento de programas de melhoria contínua (ZÜGE, 2014). Relatórios de sustentabilidade são a apresentação de forma estruturada e periódica dos indicadores de sustentabilidade de uma organização nos âmbitos econômicos, ambientais e sociais. Para o seu desenvolvimento é necessário um processo que envolve identificação, mensuração e divulgação do desempenho sustentável, com o objetivo de definir a estratégia de gestão da empresa, melhorar o diálogo com os acionistas, identificação riscos e oportunidades atrelados à sustentabilidade e suporte a quebra de paradigmas sempre buscando soluções criativas para atingir melhores resultados operacionais.

Os relatórios de sustentabilidade representam, portanto, o interesse público, devido a criarem uma mentalidade de desenvolvimento sustentável entre os principais agentes de mudança nos negócios. Estes também impulsionam maior transparência nos impactos críticos e relevantes de natureza ambiental, social e econômica. Ao fornecer informações por meio de indicadores, o mercado as utiliza para tomar decisões mais esclarecidas, os relatórios de sustentabilidade podem ajudar na eficiência e no papel de criador de valores sustentáveis. As informações contidas nesses relatórios também podem auxiliar governos em busca de formas de medir seu progresso rumo ao desenvolvimento sustentável. E, por fim, refletem nas decisões dos acionistas em relação à empresa, incluindo funcionários, a sociedade e os consumidores. Por exemplo, em 2009, 75% da força de trabalho americana foi

avaliada sobre critérios de responsabilidade social e compromisso ambiental como fatores decisivos na escolha dos empregadores (LIGTERINGEN, 2012).

Referências para modelos de relatórios de sustentabilidade que são mais comumente utilizados consideram:

- a) Norma ISO 26000;
- b) Projeto Bellagio;
- c) Modelo do instituto Ethos;
- d) Modelo Global Reporting Initiative (GRI);
- e) Pacto Global da ONU (United Nations Global Compact);
- f) Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (MDG - Millennium Development Goals).

Ilustra-se um resumo do objetivo base destes modelos de relatórios obtido a partir de recente trabalho de doutorado desenvolvido por Cláudia Tomie Yushima Züge, na Universidade de São Paulo em 2014.

Nesse trabalho, Züge (2014) esclarece que não é obrigatória a utilização somente destes modelos de relatórios citados, as empresas podem inclusive mesclar orientações de vários guias e gerar o seu próprio padrão corporativo.

O padrão internacional das normas de série ISO 26000 indica diretrizes responsabilidade social que fornece orientação para organizações do setor público e privado, com base em um consenso internacional representado por especialistas das principais partes interessadas; assim, incentiva a implantação de melhores práticas em responsabilidade social em todo o mundo (IOS, 2010).

A norma ISO 26000 busca uma abordagem holística para implementar o entendimento de práticas de responsabilidade social nas corporações transformando princípios em ações efetivas a partir de sete temas centrais: envolvimento da

comunidade, direitos humanos, melhores práticas de trabalho, meio ambiente, práticas de operação justas, consumo sustentável e governança organizacional.

O projeto Bellagio foi conduzido pelo quadro de funcionários do *International Institute for Sustainable Development* (IISD) e um grupo de especialistas e colaboradores. A Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1987 e a Agenda 21 em 1992 fizeram uma chamada para desenvolvimento de medição e avaliação em relação ao desenvolvimento sustentável (HARDI e ZDAN, 1997).

O projeto Bellagio considera quatro aspectos do progresso da avaliação para se obter um desenvolvimento sustentável:

- a) O estabelecimento da visão;
- b) Avaliação das prioridades;
- c) Definição e ações efetivas;
- d) Manter a cultura da avaliação contínua das práticas estabelecidas no início do processo.

O Instituto Ethos de Empresas e Responsabilidade Social apresenta-se como uma organização sem fins lucrativos com a missão de mobilizar, sensibilizar e ajudar as empresas a gerirem seus negócios de forma socialmente responsável, tornando-as parceiras na construção de uma sociedade justa e sustentável (INSTITUTO ETHOS, 2012).

Os indicadores Ethos são uma ferramenta para a gestão do autodiagnóstico e planejamento das práticas de responsabilidades sociais dentro de sete tópicos:

- a) Valores e transparência;
- b) Público interno;
- c) Meio ambiente;

- d) Fornecedores
- e) Comunidade;
- f) Clientes;
- g) Governo e sociedade.

Existem dois tipos de relatórios que podem ser escolhidos de acordo com o tamanho da empresa e também permite integrações com outros modelos como: a ISO 26000, Versão G3 da GRI, Metas do Milênio, Pacto Global das Nações Unidas e a Norma SA800.

A Global Reporting Initiative (GRI) é uma organização sem fins lucrativos cujo objetivo é promover a sustentabilidade econômica, ambiental e social. Ela fornece uma estrutura de relatório de sustentabilidade por meio de diretrizes, que é amplamente utilizada por empresas no mundo inteiro (KPMG INTERNATIONAL, 2011).

Segundo relatório da empresa KPMG International (2011) multinacional sediada em Amsterdã na Holanda, para o grupo das 100 maiores empresas da Holanda pesquisado 69% delas utilizam os índices de sustentabilidade GRI. Para o grupo das 250 maiores empresas no ano de 2008, 77% utilizavam o GRI. Em 2011, esta porcentagem alterou-se para 80%. Segundo o documento emitido por esta empresa, o relatório mais utilizado pelas organizações é o GRI (KPMG INTERNATIONAL, 2011).

Ao utilizar relatórios no modelo GRI, a empresa inicia declarando qual nível de aderência ao modelo GRI foi adotado dentre os três possíveis níveis: A, B e C. Se uma empresa terceira realizar a validação e conferência da aplicação do nível de relatório informado, os níveis GRI passam a ser: A+, B+, C+. A tabela 17 ilustra os requisitos para cada nível de relatório GRI (GRI, 2011).

Tabela 17 – Requisitos para os Níveis de Relatórios GRI.

Nível do Relatório:	C	B	A
Declaração de Perfil	Relatório de: 1.1 2.1 - 2.10 3.1 - 3.8, 3.10 - 3.12 4.1 - 4.4, 4.14 - 4.15	Relatório de todos os critérios listados para o nível C com a adição de: 1.2 3.9, 3.13 4.5-4.13, 4.16-4.17	Mesmo requisito do nível B
Declaração de Abordagem Gerencial	Não necessário	Declaração de abordagem gerencial para cada categoria de indicador	Declaração de abordagem gerencial para cada categoria de indicador
Indicadores de Desempenho e Indicadores de Desempenho do Suplemento de Setor	Relatório completo com, no mínimo, 10 Indicadores de Desempenho, incluindo, pelo menos, um de cada grupo: social, econômico e ambiental	Relatório completo com, no mínimo, 20 Indicadores de Desempenho, incluindo, pelo menos, um de cada grupo: econômico, ambiental, direitos humanos, trabalho, sociedade e responsabilidade de produto	Responder em cada núcleo e indicador de Suplemento de Setor relativo ao princípio da materialidade por meio de uma das seguintes opções: a) reportar o indicador ou b) explicar a razão para sua omissão

Fonte: GRI (2011).

Para se criar um relatório básico no padrão GRI é necessário seguir dez etapas (GRI, 2012):

Etapa 1 – Avaliar modelo e selecionar os índices que possuem dados organizacionais estabelecidos e preenchê-los. Os mais complexos será necessário criar um comitê para planejar o processo de implementação;

Etapa 2 – Fazer download das Diretrizes G3 da GRI para compreender as ações que devem ser realizadas;

Etapa 3 – Ler os 10 princípios de Relatórios das Diretrizes;

Etapa 4 – Elaborar um plano de atividades para coletar e organizar informações ou implantar processos para possibilitar o preparo do relatório. Definir o prazo para a conclusão do relatório;

Etapa 5 – Montar uma equipe para implantar o plano;

Etapa 6 – Organizar discussões internas para avaliar quais aspectos das diretrizes são prioritários para a organização;

Etapa 7 – Identificar com quais partes interessadas são mais importantes para a organização e listar aspectos prioritários, visando obter sugestões sobre aspectos adicionais;

Etapa 8 – Fazer uma lista dos indicadores de desempenho da GRI relacionados a cada aspecto elencado. Definir quais indicadores da GRI são os mais críticos, importantes ou relevantes. Recomenda-se o teste do “Princípio da Materialidade”, que pode ser encontrado nas Diretrizes e na Publicação das Séries de Aprendizagem da GRI;

Etapa 9 – Para um relatório de Nível C, pelo menos 10 indicadores da GRI devem ser identificados, sendo, no mínimo, um indicador econômico, um ambiental e um social. Preparar o monitoramento dos indicadores selecionados e coletar informações para incluir no relatório;

Etapa 10 – Incluir todas as informações coletadas nos campos pertinentes. Verificar, publicar o relatório e enviar uma cópia para a GRI.

O Pacto Global da ONU é uma plano de liderança para o desenvolvimento, implementação e divulgação de políticas e práticas empresariais sustentáveis e responsáveis. Busca alinhar as operações e estratégias do negócio com dez princípios universalmente aceitos nas áreas dos direitos humanos, trabalho, meio ambiente e combate à corrupção (UN GLOBAL COMPACT, 2011).

Estes dez princípios estão inseridos em quatro dimensões:

- a) Valores fundamentais dos direitos humanos;
- b) Trabalho normatizado e justo;
- c) Meio ambiente e combate à corrupção;
- d) Implantar, incentivar e aprovar este conjunto de valores fundamentais.

No ano de 2010, ONU e GRI buscaram criar uma estrutura universal para o desempenho de sustentabilidade corporativa e divulgação, com o objetivo de transformar as práticas de negócios em escala global.

Em setembro de 2000, os líderes mundiais reuniram-se na sede das Nações Unidas em Nova York para adotar a Declaração do Milênio das Nações Unidas, comprometendo suas nações para uma nova parceria global para reduzir a pobreza extrema e estabelecendo uma série de metas com prazos (até 2015) que ficaram conhecidos como os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (UNICEF, 2013).

Segundo o Fundo das Nações Unidas para a Infância - UNICEF (2013), os oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) são:

- a) Erradicar a extrema pobreza e a fome;
- b) Universalizar a educação primária;
- c) Promover a igualdade entre os sexos e a autonomia das mulheres;
- d) Reduzir a mortalidade na infância
- e) Melhorar a saúde materna;
- f) Combater o HIV/AIDS, a malária e outras doenças;
- g) Garantir a sustentabilidade ambiental;
- h) Estabelecer uma parceria mundial para o desenvolvimento sustentável.

Observe-se que cada um destes modelos de relatórios possuem estruturas diferentes. Alguns abordam mais tópicos que outros. Entretanto, todos os modelos buscam práticas para uma produção sustentável, lucrativa e transparente sem deixar de considerar os pilares da sustentabilidade como base para suas atividades, tentando mitigar os impactos no meio ambiente e o compromisso com as partes envolvidas da corporação.

Observe-se também que cada empresa adota um ou vários modelos de relatório de sustentabilidade que julgue mais conveniente para gerar seu relatório corporativo de sustentabilidade.

A emissão de relatórios de sustentabilidade é utilizada pelas empresas não só como ferramenta para identificação de melhorias, como também para divulgação de suas ações relativas à sustentabilidade.

A figura 18 ilustra um gráfico das dez maiores empresas globais produtoras de fertilizante, que referencia a capacidade nominal em milhões de toneladas no ano de 2014 de cada empresa. Dentre elas pesquisou-se quais os modelos de relatório de sustentabilidade que cada uma considera em seus respectivos relatórios anuais apresentados na tabela 17.

Figura 18 – Gráfico das empresas Produtoras de Fertilizantes.

Fonte: Adaptado de Fertecon, CRU, Company Reports, PotashCorp (2014).

A *PotashCorp*, conforme figura 18 é a maior produtora mundial de potássio. Aborda sustentabilidade de forma integrada, realizando suas operações buscando a criação de valor a longo prazo para os seus *stakeholders*, termo do inglês que se refere às partes interessadas na organização, dentre eles: os colaboradores, comunidades, clientes, investidores e outras pessoas e ou empresas afetadas por suas atividades. Esse princípio é incorporado nas cinco metas corporativas que funcionam como guia para gerir o seu negócio (*POTASH CORP. INC.* , 2015).

Desde 2002, a *Potash Corp.* afirma seguir as diretrizes internacionais para relatórios de sustentabilidade estabelecidos pela *Global Reporting Initiative* (GRI). Desempenho ambiental, social e econômico da *Potash Corp.* está alinhada com as normas de informação G4 global GRI. Adotaram o quadro da GRI como parte do compromisso da empresa com a transparência e prestação de contas (*POTASH CORP. INC.* , 2015).

Observe-se na tabela 18 que o modelo de relatório GRI adotado pela *Potash Corp.* além de ser o padrão mundialmente considerado pela maioria das empresas nos diversos ramos de atividades também é o padrão utilizado pela maioria das grandes empresas produtoras de fertilizantes.

Tabela 18 – Modelos de Relatórios de Sustentabilidade Utilizados nas Maiores Empresas Produtoras de Fertilizantes do Mundo.

Empresa Produtora De Fertilizantes (NPK)	Modelo de Relatório Utilizado	Faturamento de 2014 (Em Bilhões de USD)
Potash Corp	Global Report Initiative (GRI)	7,1
Mosaic Co.	Global Report Initiative (GRI)	9,1
OAQ Uralkali	Global Report Initiative (GRI)	2,8
Belaruskali	Modelo Corporativo com referência não informada.	3,9
Yara	Global Report Initiative (GRI)	12,9
OCP	Global Report Initiative (GRI)	11,3
CF Industries	Modelo Corporativo com referência não informada.	4,7
Israel Chemicals	Global Report Initiative (GRI)	6,1
Agrium Inc.	Global Report Initiative (GRI)	2,7
K+S	Modelo Corporativo baseado em: Pacto Global da ONU, ISO 26000 e Global Reporting Initiative (GRI)	4,64

Fonte: Autora.

2.5.2.3 PLANO DIRETOR DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

O Plano Diretor da Automação Industrial (PDAI) trata-se do levantamento e análise da situação da automação de uma fábrica industrial e a definição dos objetivos a serem implementados, bem como traçar um planejamento para a obtenção dos resultados esperados. No caso de uma fábrica nova, a importância de se criar um PDAI está na definição dos padrões da tecnologia de automação que serão implantados, metas de produção e performance da automação.

Segundo Züge (2014) o objetivo de um PDAI é analisar a situação atual do sistema e traçar um roteiro orientador de ações para alcance das metas da organização. O PDAI busca também uma conscientização e capacitação de dirigentes, gerência, engenheiros e responsáveis pelos investimentos na organização, para garantir a sua implementação.

Historicamente, gestores de automação contratavam projetos destinados a automação de processos ou máquinas individuais. Nesta etapa os objetivos básicos eram a substituição do elemento humano, ganhos de produtividade, a elevação dos padrões de qualidade exclusivos ao processo ou máquinas automatizadas.

Em uma segunda etapa os gestores de automação começaram a contratar a automação de sistemas produtivos como um todo. Nesta nova etapa, a complexidade e potencialidade cresceram significativamente. Desta forma os objetivos globais de automação passaram a ser:

- a) Integração entre diversos sistemas;
- b) Incremento significativo dos níveis de produção e de produtividade;
- c) Redução significativa de custos operacionais;
- d) Melhorias dos processos de gestão e disponibilidade da informação em tempo real dos níveis de produção.

Em uma terceira etapa pode-se afirmar que os projetos de automação também começaram a incorporar ganhos relativos ao controle ambiental.

A figura 19 ilustra aproximadamente as três etapas descritas na linha do tempo.

Figura 19 – Ilustração das Etapas de Automação na linha do tempo.

Fonte: Autora.

Segundo Venturelli (2015) somente é viável realizar com sucesso um PDAI se a automação for estratégica para sua fábrica, isto é, a automação tem responsabilidade direta pela produção, objetiva melhoria da segurança do processo e dos funcionários e também gera indicadores concretos para auxílio à tomada de decisões.

O PDAI é composto de um ou vários documentos que permitem gerar especificações técnicas para projetos de novas fábricas ou atualizações de fábricas existentes. No caso de novas fábricas, o tipo de investimento é denominado como *capital expenditure* (CAPEX) do inglês que está relacionado com o capital despendido para um novo empreendimento, e caso de um projeto de melhorias operacionais em uma fábrica existente, o investimento é denominado como *operational expenditure* (OPEX) do inglês que está relacionado com o capital despendido para manter e incrementar os níveis de operação e produção.

Em um investimento de CAPEX é importante que a tecnologia definida para a automação no PDAI seja a compatível com futuro, isto é o nível de conectividade que a mesma permite atingir, analisar a sua viabilidade técnica e econômica e a segurança na operação. Para um investimento de OPEX, o PDAI objetiva também a automação que a ser implementada permita diminuir os custos operacionais e a evolução da segurança.

Um dos benefícios da realização de um PDAI é a possibilidade de sistematizar e padronizar as ações referentes a Tecnologia de Automação (TA) e também da Tecnologia da Informação (TI).

Com o PDAI pode-se alcançar nove objetivos principais:

- a) Planejamento integrado da troca de informações entre todos os níveis hierárquicos de uma empresa;
- b) Melhora no alinhamento e padronização entre os projetos TA e TI;
- c) Proposta de padronização de soluções de arquitetura desejadas;

- d) Consolidação de tecnologias para os sistemas atuais e futuros a serem implantados;
- e) Obtenção de ganhos de escala na compra de hardware e software;
- f) Facilitar a manutenção com a padronização das tecnologias e equipamentos
- g) Previsão de investimentos em hardware, software e serviços;
- h) Sequenciamento da carteira de investimentos em TA e TI;
- i) Previsão da estratégia de atualização dos sistemas de TA e TI compatíveis com a velocidade de evolução da tecnologia.

Segundo Coghi (2012) para se obter sucesso na implementação de um plano diretor de automação industrial é necessário envolver todas as áreas da organização não se limitando às equipes de automação e tecnologia de informação, mas também as equipes de meio ambiente, qualidade, operação, produção, planejamento bem como as gerências envolvidas. A figura 20 ilustra as etapas para a implementação de um PDAI.

Figura 20 – Fluxograma de Implementação de um PDAI.

Fonte: Züge (2014), adaptado de Coghi (2002).

Observe-se que, na implementação tradicional de um PDAI, não existe a possibilidade de um retorno para alguma das etapas anteriores. Esta é uma deficiência deste modelo e metodologia, uma vez que, nem sempre, o desenvolvimento de qualquer atividade de planejamento ocorre de forma linear (ZÜGE, 2014).

A implementação do PDAI pode ser realizada por meio de uma equipe interna que conhece os desafios da organização, mas também por uma empresa externa que poderá avaliar os processos, necessidades e novas oportunidades com uma visão não viciada da organização. Sugere-se que a melhor estratégia para a realização do PDAI seja por meio de uma equipe mista de funcionários da própria organização que conheçam os verdadeiros pontos críticos com uma equipe externa para trazer uma experiência diferenciada.

Um plano de automação deve considerar a eficiência operacional, confiabilidade do sistema e segurança. Esses aspectos devem apresentar-se em equilíbrio, para definir quanta e qual automação deve ser aplicada para um bom desempenho do sistema (FIGUEIREDO, 2015).

2.5.2.4 TÓPICOS GERAIS SOBRE A INDÚSTRIA 4.0

A primeira revolução industrial foi possível devido ao avanço científico e tecnológico ocorrido no século XIX.

Segundo Bernal (1969) as oportunidades que o mercado oferecia para a obtenção dos lucros fizeram com que o desenvolvimento científico e tecnológico ocorresse em grande velocidade. A criação de um novo processo, nova máquina, ou novo princípio científico, como por exemplo, a produção de energia elétrica por magnetismo desenvolvida por Faraday, proporcionou uma modificação nas condições de produção e novas oportunidades de transformação econômica.

A ciência e a tecnologia foram sendo desenvolvidas ao longo dos anos e quando aplicadas à indústria permitiram as revoluções ocorridas e apresentadas na figura 20. Atualmente na revolução da Indústria 4.0 surgiu o conceito *Internet of Things*.

O termo internet das coisas trata-se da interação de uma rede de objetos físicos ou "coisas" incorporadas por meio da eletrônica, softwares, sensores, que permitem que esses objetos coletem e troquem dados.

Sistemas inteligentes recebem e controlam estes dados remotamente através de diferentes tipos de infraestrutura de rede, decodificando-os em informação confiável para a tomada de decisão de pessoas ou outros sistemas (*Internet of Things Global Standards Initiative*, 2016).

A internet das coisas foi originada com o desenvolvimento de sensores por rádio frequência conhecidos como RFID, pelo MIT. O crescimento da aplicação desta tecnologia em diversas áreas impulsionou a revolução da indústria 4.0.

As figuras 21 e 22 apresentam duas fotografias tiradas no Vaticano, Itália, em dois momentos históricos para a igreja católica: a morte do Papa João Paulo II em 2005 e o anúncio da eleição do Papa Francisco em 2013.

Figura 21 – Fotografia do anúncio da morte do Papa João Paulo II em 2005.

Fonte: Google Imagens, (18/11/2016).

Figura 22 – Fotografia do anúncio da eleição do Papa Francisco em 2013.

Fonte: Google Imagens, (18/11/2016).

Analisando as figuras 21 e 22 é observado um aumento significativo de dispositivos móveis de telefones, em menos de 10 anos no mesmo local, comparando-se ambos os momentos.

A evolução da quantidade de dispositivos conectados é exponencial. Estima-se que em 2016, 6,4 bilhões de equipamentos estejam conectados no mundo, representando um crescimento de 30% em relação ao ano anterior. Praticamente um dispositivo por pessoa no mundo estará ligado à Rede. Em 2020 por sua vez, estima-se um crescimento ainda maior, atingindo o patamar de 20,8 bilhões de dispositivos conectados (Gartner, 2015).

Nos próximos anos estima-se o fortalecimento do modelo *Internet of Things, Services and People* (IoTSP). Evoluindo o conceito da IoT de conectar dispositivos, visando permitir o estabelecimento uma nova forma de trabalho. Com a IoTSP será possível empresas aumentarem continuamente seus ativos físicos e humanos conectados, além de promover novos modelos de serviços que otimizem as operações, visando um incremento na lucratividade (Paniagua, 2016).

Com o aumento da aplicação de dispositivos inteligentes conectados em rede, os sistemas industriais passam a interagir de forma mais eficaz no suporte à decisão, potencializando a colaboração entre as diferentes etapas do processo produtivo e a interação entre pessoas e os sistemas de automação (Paniagua, 2016).

Ao longo da história mundial ocorreram as seguintes revoluções industriais:

- a) Indústria 1.0 (em 1712) com o desenvolvimento e aperfeiçoamento da primeira máquina à vapor, sua utilização no acionamento de mecanismos e organização de espaços destinados às atividades industriais;
- b) Indústria 2.0 (em 1870) com a utilização das primeiras esteiras transportadoras elevadas, a produção em massa, e implantação das linhas de montagem;

- c) Indústria 3.0 (em 1969) com a utilização dos primeiros sistemas de controle e eletrônica, miniaturização dos dispositivos eletrônicos, evolução de sistemas analógicos para digitais, estruturação TI e TA;
- d) Indústria 4.0 (em 2000) com o início da utilização do conceito de integração entre pessoas, soluções e dispositivos denominado internet of things (IoT).

A figura 23 ilustra as revoluções ocorridas na Indústria ao longo dos anos.

Figura 23 – Infográfico das Revoluções ocorridas na Indústria.

Fonte: Adaptado de IBM (2016).

2.5.2.1 TIPOS DE PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO

Drucker (1998, p. 750) define planejamento estratégico como: “É o processo contínuo de, sistematicamente e com o maior conhecimento possível do futuro contido, tomar decisões atuais que envolvam riscos; organizar sistematicamente as atividades necessárias à execução dessas decisões; e, através de uma retroalimentação organizada e sistemática, medir o resultado dessas decisões em confronto com as expectativas almejadas.

Segundo Oliveira (1996), este tipo de planejamento pode ser aplicado em diferentes níveis hierárquico de uma organização, podendo ser classificado como estratégico, tático e operacional.

a) Planejamento Estratégico (PE): É realizado a partir da análise do ambiente externo para o interno de forma sistêmica, no qual é definida a direção de uma organização. Devido ao grande impacto da aplicação das suas ações, o planejamento estratégico fica a cargo dos níveis mais altos da empresa e trata-se de um planejamento de longo prazo, em média de 5 a 10 anos. A participação de funcionários de outros níveis é indicada para evitar a resistência à implantação visando proporcionar uma mescla de experiências e ideias;

b) Planejamento Tático (PT): Tem como objetivo analisar determinadas áreas de trabalho por um período menor do que o utilizado no planejamento estratégico. Trata-se de um planejamento a médio prazo, em média de 1 a 2 anos, sendo menos genérico e mais detalhado em relação ao planejamento estratégico;

c) Planejamento Operacional (PO): Refere-se ao planejamento de curto prazo e focado e solucionar ações cotidianas, podendo ser mensal, semanal ou diário. É desenvolvido pelos gerentes de primeira linha controlados por cronogramas e ações assertivas.

A figura 24 ilustra os tipos de planejamento, na qual representa que o PE são realizados em menos quantidades que PT e PO, mas tem impacto em toda organização. O PT trata-se no nível médio gerencial impactando nas divisões de uma organização e o PO sendo as estratégias do cotidiano resultando em ações diretamente na referida área da organização.

Figura 24 – Ilustração dos Tipos de Planejamento

Fonte: Adaptado de Züge (2014).

Em recente trabalho de doutorado desenvolvido pela Cláudia Tomie Yushima Züge na Universidade de São Paulo foi desenvolvida uma metodologia que propõe o alinhamento do planejamento estratégico (PE) das organizações utilizando o PDAI em pró do desenvolvimento sustentável.

3 PROPOSTA E APLICAÇÃO DA METODOLOGIA - TAIMISEP

Este capítulo apresenta a metodologia denominada TAIMISEP (acrônimo para Tecnologia de Automação e Informação para Melhoria dos Indicadores de Sustentabilidade na Extração de Potássio) que considera a aplicação da TA e TI visando a melhoria dos indicadores de sustentabilidade na extração de potássio para a produção de fertilizantes.

Este capítulo também apresenta a aplicação da metodologia TAIMISEP no complexo da Unidade Operacional de Taquari Vassouras (UOTV), da VALE Fertilizantes localizado no estado do Sergipe, Brasil.

3.1 DESCRITIVO DA METODOLOGIA ADOTADA

O desenvolvimento da metodologia TAIMISEP foi baseado nos trabalhos de pesquisa desenvolvidos de Silva (2013) e Züge (2014).

Segundo Silva (2013) existem diversas metodologias para projetos que possibilitam a convergência entre a TA e TI, conforme apresentado em sua tese “Metodologia para o Planejamento da Convergência da Tecnologia da Informação (TI) & Tecnologia da Automação (TA) em processos industriais”.

As principais metodologias que possibilitam a convergência entre a TA e TI são:

- a) Computer Integrated Manufacturing Open Systems Architecture – CIMOSA;
- b) Purdue Enterprise Reference Architecture – PERA;
- c) GRAI Integrated Methodology – GIM.

Conforme apresentado em Silva (2013) devido às similaridades entre estas metodologias, as referidas se tornaram base de estudo de um grupo denominado IFAC/IFIC Task force, com o objetivo de desenvolver uma metodologia e arquitetura corporativa genérica de referência que pudesse ser utilizada como base para

construções de padrões, como por exemplo, as normas internacionais denominadas ISA-95 e ISA-88.

Em Silva (2013) foi desenvolvida e aplicada a metodologia MPCTAI, cujo principal objetivo é promover o planejamento de projetos considerando a convergência entre TA e TI.

As macro etapas da MPCTAI são:

- d) Apresentação;
- e) Definição;
- f) Medição;
- g) Análise;
- h) Aprimoramento;
- i) Controle;
- j) Encerramento.

Cada macro etapa deverá ser aprovada e após sua execução deverão ser registradas as atividades realizadas para manter o histórico do desenvolvimento.

Para se iniciar a aplicação da metodologia deve-se focar no pontos que possam ser uma barreira entre os sistemas de TA e TI, como por exemplo uma falta de funcionalidade.

A figura 25 apresenta o fluxograma da metodologia MPCTAI de Silva (2013).

Figura 25 – Fluxograma da Metodologia MPCTAI.

Fonte: Silva (2013).

A tabela 19 apresenta e define as macro etapas da metodologia MPCTAI de Silva (2013).

Tabela 19 – Definição das Macro Etapas da Metodologia MPCTAI.

Macro Etapas – MPCTAI	Definição
1 - Apresentação	Nesta etapa são realizadas as seguintes ações: a) Apresentação dos motivadores para a implementação da metodologia MPCTAI; b) Apresentação do fluxo das atividades; c) Definição da equipe que será responsável pelas atividades; d) Criação de um planejamento preliminar.
2 – Definição	Nesta etapa é definido o escopo em que a metodologia será aplicada.
3 – Medição	Nesta etapa é realizada uma análise de risco do não atingimento de uma meta, considerando a arquitetura com a convergência da TA e TI.
4 - Análise	Nesta etapa são analisadas as soluções que consideram a convergência de TA e TI para reduzir o risco identificado na macro etapa 3.
5 - Aprimoramento	Nesta etapa é criado o fluxo de trabalho para o desenvolvimento da camada de convergência da TA e TI.
6 - Controle	Nesta etapa são realizadas as seguintes ações: a) Avaliação dos indicadores para o fluxo de trabalho proposto na macro etapa 5; b) Criação de um cronograma de implementação das alterações; c) Proposição da arquitetura de convergência de TA e TI.
7 - Encerramento	Nesta etapa são realizadas as seguintes ações: a) Revisão dos resultados da aplicação da MPCTAI; b) Estimativa do retorno de investimento com a implantação da arquitetura sugerida na macro etapa 6; c) Envio do plano de implantação para aprovação; d) Aprovação ou não da implementação da arquitetura de convergência de TA e TI.

Fonte: Adaptado de Silva (2013).

Observe-se que para a aplicação da MPCTAI é desejável que duas etapas precedentes sejam realizadas:

- a) O planejamento estratégico da empresa (PEE);
- b) O plano estratégico de tecnologia de informação (PETI).

O resultado da aplicação da metodologia MPCTAI é uma arquitetura de hardware e software que possibilite a convergência de TA e TI baseada em conceitos como:

- a) Praticidade;
- b) Aderência;
- c) Repetibilidade.

Outro conceito importante da MPCTAI é a possibilidade de auxiliar nesta convergência de maneira gradual, uma vez que sua implementação é realizada em etapas. Assim, são minimizados os impactos culturais da organização da empresa que está implementando a metodologia, a confiança na ferramenta aumenta e também a garantia de que serão executadas as tarefas para atingir as metas estabelecidas.

Em Züge (2014), é apresentada a metodologia MAPEAS na tese denominada “Alinhamento do Planejamento Estratégico com o Plano Diretor de Automação Industrial em Pró do Desenvolvimento Sustentável”.

O objetivo da MAPEAS é criar uma metodologia integrando conceitos do PDAI, Planejamento Estratégico e o Modelo GRI de relatório de sustentabilidade, visando promover o desenvolvimento sustentável em projetos industriais.

A figura 26 apresenta o fluxograma do modelo de análise, dividido em 3 (três) macro etapas da metodologia MAPEAS de Züge (2014).

Figura 26 – Fluxograma do modelo de análise da metodologia MAPEAS.

Fonte: Züge (2014).

A tabela 20 apresenta e define as macro etapas do modelo de análise da metodologia MAPEAS de Züge (2014).

Tabela 20 – Definição das Macro Etapas do Modelo de Análise da Metodologia MAPEAS.

Macro Etapa – MAPEAS	Definição
Análise do Planejamento Estratégico de Empresas em Relação à Sustentabilidade	É realizada uma análise das metas definidas no planejamento estratégico da organização, visando verificar se as mesmas estão alinhadas com conceitos de sustentabilidade e não somente consideram valores econômicos.
Análise das Etapas do PDAI em relação às ações determinadas no Planejamento Estratégico	É realizada uma análise comparativa se o PDAI está alinhado com as ações determinadas no planejamento estratégico da organização.
Análise dos Índices de Sustentabilidade que são influenciados pela Automação Industrial	É realizada uma análise de quais indicadores GRI (indicadores dos grupos econômicos e de meio ambiente) que a organização considera em seu relatório de sustentabilidade, que estão relacionados e ou são influenciados pela automação industrial.

Fonte: Adaptado de Züge (2014).

Züge (2014) cita Schmidheiny (1992) na justificativa da primeira macro etapa de sua metodologia MAPEAS.

Segundo Schmidheiny (1992), o crescimento econômico deve considerar o crescimento sustentável, sempre observando o meio ambiente como parte importante e integrante deste processo de desenvolvimento.

Cada vez mais, a credibilidade das organizações, vem sendo observada e considerada pela população antes de adquirir seus produtos. A produção deve estar associada a sustentabilidade e esta associação tem maiores resultados quando sua ocorrência é realizada de maneira proativa e não sob regulamentações.

Observe-se que o PDAI e o Planejamento Estratégico (PE) possuem muitas etapas similares e conceitos que são usuais aos gestores das organizações. Assim, conforme a MAPEAS utiliza ambos os conceitos, facilita o entendimento e a aceitação da metodologia, bem como, otimiza o tempo gasto na execução de suas etapas.

A figura 27 apresenta o fluxograma da metodologia MAPEAS - Metodologia de Alinhamento PDAI, PE e Desenvolvimento Sustentável.

Figura 27 – Fluxograma da metodologia MAPEAS.

Fonte: Züge (2014).

Observe-se que Züge (2014) implementou em sua metodologia uma melhoria no PDAI de Coghi (2012), realizando uma realimentação e controle em cada sub etapa, permitindo assim, agilidade na execução de cada etapa e a garantia de que o

resultado parcial está de acordo com o planejado e esperado pela organização da empresa.

A tabela 21 apresenta e define as etapas da metodologia MAPEAS de Züge (2014).

Tabela 21 – Definição das Etapas da Metodologia MAPEAS.

Macro Etapa – MAPEAS	Definição
1 - Análise e eventual redefinição da missão, visão e valores da empresa	Nesta etapa são analisadas a missão, visão e valores da organização. Caso estas definições não contemplem conceitos de sustentabilidade, as mesmas devem ser revisadas.
2 - Análise e definição de indicadores de sustentabilidade pertinentes à empresa	Nesta etapa é verificado se a organização possui um padrão de relatório de sustentabilidade. Em caso negativo, a organização poderá desenvolver o próprio ou utilizar os padrões internacionais disponíveis, preferencialmente elegendo o modelo GRI como padrão ou utilizando parte de seus conceitos.
3 - Análise do ambiente externo	Nesta etapa são identificadas as oportunidades e ameaças do ambiente externo, que é composto por indivíduos, grupos, infraestrutura ou empresas que influenciam ou são influenciadas pela organização em questão.
4 - Análise do ambiente interno	Nesta etapa são analisadas as forças, as fraquezas e os pontos neutros da organização.
5 - Análise da Situação Atual da Automação	Nesta etapa é realizado um levantamento da automação como um todo da organização, bem como, definir em qual nível a automação se encontra.
6 - Formulação de metas	Nesta etapa são definidas as metas a serem alcançadas pela organização. As metas preferencialmente devem ser mensuráveis e considerar, como base, as etapas 3,4 e 5 e também os indicadores de sustentabilidade pertinentes.
7 - Análise de recursos	Nesta etapa os recursos financeiros e humanos são analisados para verificar se eles estão de acordo com as metas definidas na etapa 6.
8 - Formulação de estratégia	Nesta etapa é formulada a estratégia para atingir as metas estabelecidas na etapa 6. As atividades previstas são: a) Análise; b) Planejamento; c) Seleção de estratégias; d) Utilização de ferramentas; e) Análise dos Projetos de Automação.
9 - Implementação da estratégia	Nesta etapa é implementada a estratégia da etapa 8, visando atingir as metas da etapa 6.
10 - Realimentação e controle	Nesta etapa é realizada a avaliação de desempenho. Caso, os resultados obtidos, não estiverem de acordo com as metas definidas, ações corretivas devem ser aplicadas na etapa anterior àquela em que foi detectado o problema.

Fonte: Adaptado de Züge (2014).

Ambas as metodologias apresentadas, MPCTAI de Silva (2013) e MAPEAS de Zügue (2014), são de extrema importância e aplicabilidade para seus respectivos objetivos.

Conforme apresentado na capítulo 2 desta dissertação, a produção de potássio engloba características muito específicas.

Observe-se também que o Brasil e os demais países apresentam produção aquém da demanda e que a implantação de novas fábricas produtivas demandam investimentos significativos.

Assim, no caso da produção de potássio, existe a necessidade de uma metodologia de auxílio de tomada de decisão em projetos de automação que, conforme apresentado no item introdução deste trabalho, possibilite:

- a) Aumento da produtividade;
- b) Redução da demanda de energia elétrica;
- c) Incremento de produção;
- d) Mitigação dos impactos ambientais.

Este trabalho de pesquisa apresenta a metodologia TAIMISEP que incorpora e adapta as metodologias: MAPEAS de Zügue (2014) e MPCTAI de Silva (2013). Assim, a metodologia TAIMISEP utiliza os principais conceitos para a convergência da TI com a TA e os ganhos de sustentabilidade no desenvolvimento de uma ferramenta específica e desenvolvida para fábricas de extração de potássio.

A metodologia desenvolvida e apresentada nesta dissertação é composta de 13 etapas até a implementação do projeto de automação sugerido, conforme pode ser observado nas figuras 28, 29 e 30.

Observe-se que a metodologia desenvolvida refere-se a um ciclo de melhoria contínua e permite que seja utilizada como base para continuidade de estudos e implementações.

Figura 28 – Fluxograma da Metodologia TAIMISEP – Parte 1.

Fonte: Autora.

Figura 29 – Fluxograma da Metodologia TAIMISEP – Parte 2.

Fonte: Autora.

Figura 30 – Fluxograma da Metodologia TAIMISEP – Parte 3.

Fonte: Autora.

A proposta de aplicação da metodologia TAIMISEP sugere que na primeira etapa deve-se realizar as 3 (três) macro etapas do modelo de análise da metodologia MAPEAS de Züge (2014).

Na segunda etapa deve-se identificar o tipo de processo de extração potássio empregada na fábrica a ser estudada, conforme descrito no item 2.4 desta dissertação, ou seja, se a extração é realizada pelo método convencional ou por dissolução. Os processos de extração e beneficiamento são específicos para cada tipo de mineral obtido, assim, torna-se importante definir também qual ou quais os minerais que a fábrica a ser analisada extrai.

Na terceira etapa deve-se definir e analisar quais são os principais equipamentos que compõem o processo da fábrica em análise.

Na quarta etapa deve-se definir quais são as principais variáveis do processo produtivo da fábrica em análise: controladas e controladoras. Observe-se suas definições:

Processo Produtivo é definido como:

“É uma atividade que parte de um ou mais insumos físicos e tecnológicos, transforma-os e lhes agrega valor, criando produtos ou serviços” (PEREIRA E SIMÃO FILHO, 2014, p. 173)

Variável controlada é definida como:

“Grandeza ou a condição que é medida e controlada em um determinado sistema. Geralmente a variável controlada é a saída do sistema como, por exemplo: a velocidade de uma turbina, a posição de um atuador de um robô, o ângulo de um rastreador de satélite etc. Entretanto, em um determinado sistema também pode existir o controle de uma ou mais grandezas de condições internas como por exemplo a corrente e a temperatura do estator de um motor de um sistema de controle de velocidade.” (SIMÃO FILHO e PEREIRA, 2014, p. 174).

Variável controladora, também denominada sinal de referência é definida como:

“Grandeza de referência do sistema que serve como parâmetro de valor desejado para a variável controlada do sistema.” (SIMÃO FILHO e PEREIRA, 2014, p. 174).

Na quinta etapa deve-se definir os indicadores de sustentabilidade pertinentes à fábrica em análise que são importantes para sustentação econômica, mas principalmente pelo impacto que produzem ao meio ambiente.

Na sexta etapa deve-se comparar os indicadores definidos na etapa 5 (cinco) com os definidos na macro etapa 1.3 da metodologia MAPEAS, conforme descrita na tabela 20 previamente apresentada.

Na sétima etapa deve-se verificar a necessidade de redefinição dos indicadores escolhidos na quinta etapa. Em caso afirmativo retorna-se a sexta etapa. Caso os indicadores estejam de acordo com o desejado deve-se seguir para a oitava etapa.

Na oitava etapa o objetivo é definir quais são os fatores e as partes dos processos de menor eficiência, e dentre estes buscar soluções de automação que possibilitem a melhoria de indicadores de produção e ou de sustentabilidade.

Na nona etapa deve-se avaliar a viabilidade das possibilidades de alterações identificadas nos âmbitos técnico e econômico e se são compatíveis com as projeções de investimento da fábrica em análise.

Na décima etapa é elaborada uma proposta preliminar de projeto de automação e adicionalmente considerando as etapas da metodologia MPCTAI de Silva (2013). Com o resultado é elaborada uma proposta de projeto de automação que deverá ser apresentada à equipe responsável da fábrica em análise para a aprovação do projeto.

Na décima primeira etapa após a aprovação do projeto deve-se estimar o desempenho previsto a ser alcançado com a implementação do projeto proposto, para posterior avaliação de sua eficiência.

Na décima segunda etapa deve-se fazer avaliar conjuntamente com a equipe da fábrica se a estimativa de desempenho prevista atende as expectativas propostas alinhadas com as expectativas da empresa. Caso não tenham sido plenamente atendidas as expectativas, a equipe da empresa avaliará a continuidade no processo. Caso negativo o fluxo é finalizado. Existindo interesse em obter nova estimativa de desempenho retorna-se à terceira etapa da metodologia. Finalmente,

se, após a décima segunda etapa as expectativas forem plenamente atingidas, segue-se para etapa 13 de implementação.

Observe-se que no estudo de caso apresentado no item 3.2 A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA - TAIMISEP desta dissertação delimita-se entre as etapas de 1 a 12 da metodologia desenvolvida, porém a metodologia permite que a realização de estudos complementares e ou outras implementações.

3.2 A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA - TAIMISEP

Como estudo de caso para este trabalho de pesquisa, foi realizada a aplicação da metodologia TAIMISEP na Unidade Operacional de Taquari-Vassouras (UOTV) da VALE Fertilizantes, ilustrada na figura 31. Esta fábrica fica localizada no Estado de Sergipe na cidade de Rosário do Catete, cerca de 45 km da capital Aracaju.

A principal justificativa para a eleição desta fábrica para a aplicação da metodologia TAIMISEP é devido ser a única fábrica de potássio em operação do Brasil.

Toda a produção de Taquari-Vassouras é direcionada ao mercado brasileiro e sua capacidade de produção é de 625 mil toneladas por ano, no entanto sua produção efetiva decresce a cada ano, devido a diversos fatores operacionais, sendo que em 2015 somente foram produzidos 481 mil toneladas (VALE S.A., 2016).

Figura 31 – Fotografia Aérea da Unidade Operacional de Taquari-Vassouras.

Fonte: Obtido em <http://mundo.intranetvale.com.br/PT/Unidade/Content/Brasil/SE> (15/03/2016).

3.2.1 ETAPA 1 – MAPEAS

Para dar início à aplicação da metodologia TAIMISEP a etapa inicial é a realização do modelo de análise da metodologia MAPEAS de Züge (2014).

Assim, utilizando o conceito do modelo da metodologia MAPEAS foram analisados e questionados os seguintes itens referentes à Unidade de Taquari-Vassouras com a equipe técnica responsável:

- a) “A VALE S.A. utiliza conceitos de sustentabilidade como parte de seu planejamento estratégico?” ;
- b) “O planejamento estratégico da operação da UOTV considera um PDAI? ”;
- c) “Quais são os indicadores de sustentabilidade que são medidos na UOTV?”.

As respostas a estes questionamentos foram obtidas por meio de:

- k) Visita técnica realizada no dia 30/03/2016;
- l) Contatos posteriores com os responsáveis técnicos da UOTV;
- m) Buscas no website da empresa.

A empresa VALE S.A. informa que tem como base para suas operações a utilização de conceitos de sustentabilidade, conforme pode ser observado em suas apresentações institucionais contidas em seu website.

Também conforme pode ser observado em seu website, os relatórios de sustentabilidade dos últimos anos da VALE S.A consideram os conceitos do modelo internacional GRI-G4.

No caso específico da fábrica de Taquari-Vassoura, foi relatado pela equipe técnica que é não utilizado o modelo PDAI para a manutenção e evolução dos sistemas de automação industrial.

Observe-se que a mina dessa unidade tem perspectiva próxima de exaurir sua reserva mineral explorável economicamente pelo que há redução de investimentos liberados e implantados pela VALE na fábrica de Taquari-Vassouras. Um exemplo claro de limitação de investimento no âmbito da automação é que somente são realizadas manutenções corretivas nesta unidade, que geram longas paradas de produção e custos elevados de manutenção.

A VALE S.A não disponibilizou os indicadores de sustentabilidade medidos na fábrica de Taquari-Vassouras.

Conforme relatório de sustentabilidade de 2015 da VALE S.A. disponibilizado em seu website, não está contemplado distinção dos indicadores do produto potássio em relação a outros fertilizantes que a empresa produz. Assim, os resultados da unidade de Taquari-Vassouras, a única produtora de potássio, estão sumarizados com os resultados de outras fábricas da empresa que produzem fosfatados e nitrogenados.

A figura 32 ilustra o resultado dos indicadores para a unidade de fertilizantes da VALE S.A. em 2015, apresentado em seu relatório de sustentabilidade anual referente ao ano de 2015, e o comparativo com resultado do ano de 2014.

Figura 32 – Infográfico parcial do relatório de sustentabilidade 2015 da VALE.S.A.

Área de Negócio	Indicadores	Resultado de 2015	Resultado de 2015 (variação média em relação a 2014)
Fertilizantes	G4 - EN3: Consumo de energia dentro da empresa (combustíveis)	●	16% de redução em quatro unidades
	G4 - EN3: Consumo de energia dentro da empresa (eletricidade)	●	24% de aumento em quatro unidades
	G4 - EN8: Captação de Água;	●	13% de aumento em duas unidades
	G4 - EN21: Emissões de NOx, SOx e outras emissões	●	Indicador novo para uma unidade
	G4 - EN23: Geração de Resíduos Perigosos	●	19% de redução em duas unidades
	Iniciativas sociais relevantes	●	Plano de ação do ano

Fonte: Adaptado de Relatório de Sustentabilidade referente ao ano de 2015, VALE S.A. (2016).

As cores ilustradas no infográfico parcial representado na figura 31, na coluna denominada “resultado de 2015”, significam:

- Verde: resultado superior à meta definida pela VALE S.A. para o ano de 2015;
- Azul: resultado dentro da meta definida pela VALE S.A. para o ano de 2015;
- Vermelho: resultado inferior à meta definida pela VALE S.A. para o ano de 2015.

Observe-se que os indicadores ilustrados na figura 32, com iniciais “G4” referem-se a indicadores que a VALE S.A. utilizou como referência os definidos no modelo de relatório internacional GRI.

Ressalta-se a importância da Segurança do Trabalho com um dos objetivos e metas a serem alcançados pela redução de acidentes e incidentes. Considera-se a segurança na interação das instâncias patrimonial, física e atuária, designadas em inglês como *security*, *safety* e *insurance* (Figueiredo, 2015).

Durante a visita técnica na unidade de Taquari-Vassouras registrou-se a existência de placa informativa dos indicadores de segurança, saúde e meio ambiente, conforme ilustrada na figura 33.

Figura 33 – Fotografia dos Indicadores de Segurança, Saúde e Meio Ambiente da UOTV.

Fonte: Autora, obtida em visita técnica na Unidade de Taquari Vassouras no dia 30/03/2016.

Analisando os indicadores apresentados no relatório de sustentabilidade do ano de 2015 da VALE S.A. e aplicando os conceitos do modelo de análise da metodologia MAPEAS, observa-se que os indicadores apresentados indicados como “G4” estão relacionados com conceitos que podem ser melhorados por meio da automação industrial.

Assim, utilizando os conceitos do modelo de análise da metodologia MAPEAS, definiu-se os seguintes indicadores para à aplicação da metodologia TAIMISEP:

- a) G4 – EN3: Consumo de energia dentro da empresa (combustíveis);
- b) G4 – EN3: Consumo de energia dentro da empresa (eletricidade);
- c) G4 – EN8: Captação de Água;

d) G4 – EN21: Emissões de NOx, SOx e outras emissões;

e) G4 – EN23: Geração de Resíduos Perigosos.

O resultado desta etapa foi utilizado na etapa 6 da aplicação da metodologia TAIMISEP.

3.2.2 ETAPA 2 – MAPEAMENTO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE FERTILIZANTES

A unidade operacional de Taquari-Vassouras, utiliza o método convencional para a extração da silvinita, minério constituído de cloreto de potássio (KCl) e cloreto de sódio (NaCl), por meio de mina subterrânea, para obter o produto final cloreto de potássio (KCl) e ser utilizando como fertilizantes na agroindústria brasileira (VALE S.A, 2016)

A figura 34 ilustra uma fotografia da rocha potássica lavrada na Mina Subterrânea da Unidade de Taquari-Vassouras.

Figura 34 – Fotografia da Rocha Potássica Lavrada na Mina Subterrânea de Taquari-Vassouras

Fonte: Obtido em <<http://mundo.intranetvale.com.br/PT/Unidade/Content/Brasil/SE>>
(15/03/2016).

A figura 35 ilustra uma fotografia do produto final KCl da Unidade de Taquari-Vassouras.

Figura 35 – Fotografia do Produto Final da Unidade de Taquari-Vassouras

Fonte: Autora, obtida em visita técnica na Unidade de Taquari Vassouras no dia 30/03/2016.

A mina subterrânea possui cerca de 750 metros de profundidade e utiliza o método de câmaras e pilares para a extração da silvinita, com teor de concentração de KCl de aproximadamente 28%. O acesso é realizado por meio de 2 poços com 500 metros de profundidade e 5 metros de diâmetro cada, sendo um deles utilizado para movimentação de pessoas e equipamentos, denominado Poço de Serviço e o outro para a movimentação do material extraído, denominado Poço de Extração.

O Poço de extração possui capacidade de transportar 420 toneladas por hora de minério e operar em velocidade de 8,5 metros por segundo. A capacidade de produção da mina é da ordem de 2,1 milhões de toneladas de minério por ano. (Monte, 2002).

A figura 36 apresenta visão externa da entrada do poço de extração da unidade de Taquari-Vassouras.

Figura 36 – Fotografia Externa do Poço de Extração da Unidade de Taquari-Vassouras.

Fonte: Autora, obtida em visita técnica na Unidade de Taquari Vassouras no dia 30/03/2016.

O processo de extração da mina subterrânea da UOTV é composto por 7 frentes de lavra. Cada frente utiliza um conjunto de equipamentos para lavrar a mina, denominado conjunto de lavra, composto pelos seguintes equipamentos: mineradores contínuos do tipo mariettas elétricas, equipamentos de transporte elétricos denominados carros ponte (em inglês *shuttle-car*) e quebrador-alimentador de correia transportadora (em inglês *feeder breaker*).

A frente de extração de minério utiliza equipamento minerador denominado marietta elétrica, escavando e abrindo as câmaras da mina subterrânea. A capacidade operacional dos mineradores utilizados na mina do complexo UOTV é de aproximadamente 40 mil toneladas por mês cada.

Após a lavra, o equipamento carro ponte, com capacidade operacional para suportar 15 toneladas de minério, transporta o minério por cerca de 150 metros até equipamento quebrador-alimentador de correias transportadoras. Este por sua vez

realiza a britagem primária do minério com uma cabeça de corte e despeja o material diretamente no transportador de correias.

Um sistema de transportadores de correia com 9km de extensão transporta o minério pela mina até despejá-los em dois silos de transferência, cada um com 600 toneladas de capacidade de armazenamento. O silo principal da mina tem capacidade de 7500 toneladas e a partir dele que o minério é transportado à superfície através guincho de mina pelo poço de extração.

O estéril, rejeito mineral não útil ou com teor insuficiente para aproveitamento processo, é separado e mantido na mina em áreas previamente exploradas e não mais possuem depósitos de potássio (VALE S.A, 2016).

A Figura 37 ilustra uma das telas referentes ao sistema de operação da mina.

Figura 37 – Fotografia de uma das telas do sistema supervisório da Mina da UOTV.

Fonte: Autora, obtida em visita técnica na Unidade de Taquari Vassouras no dia 30/03/2016.

A figura 38 apresenta a macro arquitetura de hardware da mina da UOTV, em que pode ser observado o fluxo do processo desde a extração, processamento do material obtido e transporte do material pela mina, bem como os principais equipamentos e subsistemas.

Figura 38 – Macro Arquitetura de Hardware da Mina da Unidade de Taquari-Vassouras.

Fonte: Adaptado de Monte (2002).

O sistema de movimentação dos poços utiliza sincronismo de contrapeso entre os guinchos de ambos os poços visando otimizar o consumo energético. A movimentação considera o deslocamento das equipes e equipamentos nesse sistema.

Assim, quando o material extraído estiver sendo transportado à superfície, é uma oportunidade para a equipe de trabalho descer utilizando o poço de serviço, porém os guinchos tem capacidade para funcionarem de maneira independente.

O material é então transportado da mina para a usina de beneficiamento por meio de esteiras transportadoras.

A figura 39 ilustra um setor da esteira que transporta o minério do poço de extração até a área da britagem da usina de beneficiamento.

Figura 39 – Fotografia Parcial da Correia-Transportadora que movimenta o material extraído da Mina para a Usina de Beneficiamento.

Fonte: Autora, obtida em visita técnica na Unidade de Taquari Vassouras no dia 30/03/2016.

Outro caminho do processo é a possibilidade de armazenamento do minério extraído proveniente da mina para pilha pulmão em praça ROM, sigla em inglês para *run of mine*. Esta pilha comporta armazenamento de minério por até 30 horas de operação da usina.

A figura 40 ilustra o minério proveniente da mina armazenado na pilha pulmão na praça de ROM antes de ser beneficiado na Usina da UOTV.

Figura 40 – Fotografia da Pilha Pulmão na Praça de ROM da UOTV.

Fonte: Autora, obtida em visita técnica na Unidade de Taquari Vassouras no dia 30/03/2016.

Após o recebimento do minério na usina de beneficiamento, o mesmo passa por extenso processo para obtenção do produto cloreto de potássio, similar ao descrito no item 2.4 desta dissertação.

O processo de beneficiamento da usina de Taquari-Vassouras compõe-se das seguintes operações: britagem e peneiramento, moagem, deslamagem, flotação, centrifugação, secagem, compactação, filtração, dissolução e estocagem.

O infográfico da Usina de Beneficiamento do minério silvinita pode ser observado na figura 41.

Figura 41 – Infográfico da Usina de Beneficiamento da Unidade de Taquari-Vassouras.

Fonte: Adaptado de Monte (2002).

O complexo de Taquari-Vassouras ocupa área de cerca de aproximadamente, um milhão de metros quadrados.

As informações descritas foram obtidas da equipe técnica da unidade de Taquari-Vassouras da Vale S.A em visita técnica realizada no dia 30 de março de 2016.

3.2.3 ETAPA 3 – DEFINIÇÃO E ANÁLISE DOS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

Para se definir os principais equipamentos de uma unidade produtora é necessário compreender as suas respectivas funcionalidades no processo e suas criticidades em caso de falha, tanto para garantir a produção da fábrica, como também nos âmbitos de saúde, segurança e meio ambiente.

Para a análise técnica deste trabalho, classificaram-se segundo suas posições de trabalho os equipamento: Analisando a unidade de Taquari-Vassoura separou-se em equipamentos que operam na mina subterrânea e os utilizados à superfície na usina de beneficiamento.

A mina e a usina de beneficiamento tratam-se de processos independentes, uma vez que, considerando a ocorrência de uma falha na operação da mina e exista minério na pilha pulmão, por exemplo, é possível que a usina de beneficiamento continue sua operação normalmente, por até 30 horas de operação. (VALE S.A. 2016)

Os principais equipamentos da Mina Subterrânea são:

- a) Guincho de Mina;
- b) Ventiladores;
- c) Sistema de Refrigeração;
- d) Mineradores tipo Mariettas Elétricas;
- e) Carros Ponte;

f) Quebradores-Alimentadores de Esteiras;

g) Esteiras Transportadoras.

A tabela 22 apresenta as funcionalidades dos principais equipamentos da mina da unidade de Taquari-Vassouras.

Tabela 22 – Principais equipamentos da Mina da UOTV.

Equipamento	Função no Processo Produtivo
Guincho de Mina	Equipamento responsável por transportar a matéria prima da mina até a superfície.
Ventiladores	Equipamentos responsáveis por manter o suprimento de ar na mina, viabilizando assim, a realização dos trabalhos pelas equipes operacional e de manutenção.
Sistema de Refrigeração	Sistema responsável por manter a temperatura em patamares que permitam o trabalho na mina pelas equipes operacional e de manutenção.
Mineradores tipo Mariettas Elétricas	Equipamentos responsáveis pela extração da matéria prima a partir da rocha potássica.
Carros Ponte	É responsável por conectar e transferir o minério obtido para os quebradores e alimentadores de esteiras transportadoras.
Quebradores-Alimentadores de Esteiras	É responsável por reduzir o minério em tamanhos adequados ao transporte pela mina e transferi-lo para as esteiras transportadoras.
Esteiras Transportadoras	Conjunto de equipamentos responsáveis pelo transporte do minério ao longo da mina.

Fonte: Autora.

Os principais equipamentos da Usina de Beneficiamento são:

a) Britadores;

b) Peneiras;

c) Moinhos de Barras;

d) Hidroseparator;

e) Centrífugas;

f) Secadores;

g) Esteiras Transportadoras.

A tabela 23 apresenta as funcionalidades dos principais equipamentos da Usina de Beneficiamento da unidade de Taquari-Vassouras.

Tabela 23 – Principais equipamentos da Usina de Beneficiamento da UOTV.

Equipamento	Função no Processo Produtivo
Britadores	Equipamento responsável por reduzir o minério em tamanhos adequados para o beneficiamento do minério na usina, em granulometrias inferiores a 12 mm.
Peneiras	Equipamento responsável por separar o minério na granulometria correta referente a sua etapa do processo produtivo. Este equipamento funciona em conjunto com os britadores, uma vez que o material que não se encontra na granulometria correta retorna ao processo de britagem.
Moinhos de Barras	Equipamento responsável por reduzir ainda mais o minério.
Hidroseparator	Equipamento responsável pela deslamagem da polpa que irá alimentar a unidade de flotação.
Centrífugas	Equipamento responsável por separar a polpa de minério por sedimentação e seguir com o processo para a área de flotação
Secadores	Equipamento responsável por secar o material, retirando a umidade que ainda resta no material.
Esteiras Transportadoras	Conjunto de equipamentos responsáveis pelo transporte do minério ao longo da Usina de Beneficiamento.

Fonte: Autora.

3.2.4 ETAPA 4 – IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS DO PROCESSO: CONTROLADAS E CONTROLADORAS

Para identificar as principais variáveis controladas e controladoras, utilizou-se o mesmo procedimento realizado na etapa três, analisando-se separadamente os processos da Mina e da Usina de Beneficiamento.

Assim, em conjunto com a equipe de manutenção da fábrica de Taquari-Vassouras, classificaram-se as principais variáveis controladas e os correspondentes parâmetros de referência do sistema (variáveis controladoras) para cada equipamento.

A tabela 24 ilustra a variável controlada de cada um dos principais equipamentos da mina e seu respectivo parâmetro de referência.

Tabela 24 – Principais variáveis controladas e parâmetros de referência dos equipamentos da Mina.

Equipamento	Principal Variável Controlada	Parâmetro de Referência
Guincho de Mina	Velocidade de Operação	Operar em velocidade de 8,5 m/s.
Ventiladores	Vazão de Ar	Garantir o fluxo de ar no circuito principal em 40 m ³ /s.
Sistema de Refrigeração	Temperatura Ambiente do	Manter a temperatura em 7°C. Caso a temperatura ultrapasse 31,1°C a operação da mina é paralisada.
Mineradores tipo Mariettas Elétricas	Produção	Manter a produção do equipamento em 150t/h de minério
Carros Ponte	Volume de Material	Informar no sistema o volume do material, uma vez que não pode ultrapassar 15t.
Quebradores-Alimentadores de Esteiras	Granulometria do material	Britar o minério em granulometria de até 20 mm.
Esteiras Transportadoras	Velocidade da esteira	Manter a esteira transportando o material obtido a uma velocidade de 2 m/s.

Fonte: Autora.

A tabela 25 ilustra a variável controlada definida para cada um dos principais equipamentos da Usina de Beneficiamento e seu respectivo parâmetro de referência.

Tabela 25 – Principais variáveis controladas e parâmetros de referência dos equipamentos da Usina de Beneficiamento.

Equipamento	Principal Variável Controlada	Parâmetro de Referência
Britadores	Granulometria do Material	Britar o minério em granulometria de até 12 mm.
Peneiras	Granulometria do Material	Garantir que o minério está na granulometria correta para seguir o processo de beneficiamento. No caso das peneiras após o britador, o minério deve estar em até 12mm.
Moinhos de Barras	Velocidade do Moinho	Manter os moinhos em velocidade de rotação de 20 rpm.
Hidroseparator	Volume de água	Volume de água contido no processo de deslamagem. Não foi informado pela empresa Vale S.A. o volume necessário de água nesta fase do processo.
Centrífugas	Velocidade de rotação	Manter a velocidade de rotação da centrífuga em até 600 rpm.
Secadores	Temperatura da Câmara de combustão	Manter a temperatura da câmara de combustão em 650°C.
Esteiras Transportadoras	Velocidade da Correia	Manter a correia transportando o material obtido a uma velocidade de 2 m/s.

Fonte: Autora.

3.2.5 ETAPA 5 – DEFINIÇÃO DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

Conforme observado na etapa 1 da aplicação da metodologia TAIMISEP, face à indisponibilidade de dados específicos para a Unidade de Taquari-Vassouras, uma vez que a VALE SA. sumariza os resultados de suas demais fábricas produtoras de fertilizantes.

Assim, em conversa com a equipe de operação da fábrica de Taquari-Vassouras, definiu-se em consenso, a utilização dos mesmos indicadores contidos no relatório anual da VALE S.A. para esta etapa da metodologia TAIMISEP.

Analisando esta definição, conclui-se que já seria uma contribuição para a sociedade e os órgãos fiscalizadores esta divulgação dedicada à fábrica de Taquari-

Vassouras. Outro fator relevante, por se tratarem de dados que a fábrica já obtém usualmente, não será necessário nenhuma implementação para obtê-los.

Os indicadores de sustentabilidade utilizados pela VALE S.A. em seu relatório anual de sustentabilidade a serem utilizados para aplicação da metodologia TAIMISEP na fábrica de Taquari-Vassouras são:

- a) G4 – EN3: Consumo de energia dentro da empresa (combustíveis);
- b) G4 – EN3: Consumo de energia dentro da empresa (eletricidade);
- c) G4 – EN8: Captação de Água;
- d) G4 – EN21: Emissões de NOx, SOx e outras emissões;
- e) G4 – EN23: Geração de Resíduos Perigosos;
- f) Iniciativas Sociais Relevantes.

3.2.6 ETAPA 6 – ANÁLISE COMPARATIVA DOS INDICADORES DEFINIDOS NA ETAPA 5 COM OS INDICADORES DEFINIDOS NA ETAPA 1.3 DE MAPEAS

O objetivo da etapa 6 é a verificação dos indicadores definidos em conjunto com a equipe de operação da fábrica de Taquari-Vassouras na etapa 5, se estão alinhados com os conceitos do modelo de análise da metodologia MAPEAS, bem como os indicadores definidos na etapa 1.

A tabela 26 demonstra o comparativo dos indicadores definidos na etapa 1 com definidos na etapa 5.

Tabela 26 – Comparativo dos Indicadores da Etapa 1 com os indicadores da Etapa 5

Indicadores - Etapa 1 (MAPEAS)	Indicadores - Etapa 5
G4 – EN3: Consumo de energia dentro da empresa (combustíveis)	G4 – EN3: Consumo de energia dentro da empresa (combustíveis)
G4 – EN3: Consumo de energia dentro da empresa (eletricidade)	G4 – EN3: Consumo de energia dentro da empresa (eletricidade)
G4 – EN8: Captação de Água	G4 – EN8: Captação de Água
G4 – EN21: Emissões de NOx, SOx e outras emissões	G4 – EN21: Emissões de NOx, SOx e outras emissões
G4 – EN23: Geração de Resíduos Perigosos	G4 – EN23: Geração de Resíduos Perigosos
	Iniciativas Sociais Relevantes

Fonte: Autora.

Analisando os resultados obtidos desta comparação, observa-se que somente um indicador não foi considerado na etapa 1 de MAPEAS, o item “Iniciativas Sociais Relevantes”, pelo fato de não estar diretamente relacionado com conceitos da tecnologia de automação.

Assim, como a Metodologia TAIMISEP visa a melhoria dos indicadores de sustentabilidade por meio do emprego da TA e TI, considerou-se a utilização dos indicadores definidos na etapa 1 para este estudo de caso e sua aplicação.

3.2.7 ETAPA 7 – VERIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DE REDEFINIÇÕES

O objetivo desta etapa é verificar a necessidade de redefinições para a aplicação da metodologia TAIMISEP, alinhando e confirmando as definições realizadas nas etapas anteriores com as expectativas da equipe que vai receber os resultados da implementação desta metodologia.

Os principais itens a serem verificados são:

- a) Principais Equipamentos da Mina;
- b) Principais Equipamentos da Usina de Beneficiamento;

- c) Principais Variáveis controladas e seus parâmetros de referência dos equipamentos da Mina;
- d) Principais Variáveis controladas e seus parâmetros de referência dos equipamentos da Usina de Beneficiamento.

Os equipamentos correspondentes já foram avaliados por ocasião da definição das principais variáveis controladas e seus parâmetros de referência, tanto para mina como para a usina, em conjunto com a equipe de manutenção da fábrica de Taquari-Vassouras na etapa 4 da implementação da metodologia TAIMISEP, foram avaliados os seus equipamentos correspondentes.

Assim, já está atendida a ação prevista nesta etapa, não sendo requeridas alterações nas definições prévias.

Observe-se que para os indicadores de sustentabilidade não foi necessária a reavaliação, devido terem sido definidos em conjunto com a equipe de operação da fábrica de Taquari-Vassouras na etapa 5, e posteriormente terem sido reavaliados na etapa 6 desta implementação da metodologia TAIMISEP.

3.2.8 ETAPA 8 – IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS FATORES OU SUB PROCESSOS MENOS EFICIENTES

Durante a visita técnica à Unidade de Taquari-Vassouras realizada no dia 30 de março de 2016, foram identificados um rol de fatores com potencial de limitação e decréscimo na produção anual da unidade. Esses fatores são indicados a seguir:

- a) Vazamentos em geral;
- b) Corrosão causada pelo KCl;
- c) Poeira;

- d) Manutenção do tipo corretiva nos equipamentos, desconsiderando a ausência de manutenção preventiva e ou preditiva;
- e) Escassez de Água;
- f) Utilização de Sistema de Automação Elétrica somente na subestação principal da unidade;
- g) Falta de integração das informações entre os supervisórios da usina e mina;
- h) Elevado tempo de parada de manutenção para os moinhos.

Observe-se que seguramente existem outros fatores que influenciam na eficiência da operação da unidade de Taquari-Vassouras. Estes foram identificados principalmente durante a visita técnica e por meio de contatos posteriores com a equipe técnica de automação da planta.

A figura 42 ilustra uma fotografia da dispersão aérea de finos em suspensão de cloreto de potássio no processo de beneficiamento.

Figura 42 – Fotografia da poeira gerada no beneficiamento do KCl.

Fonte: Autora, obtida em visita técnica na Unidade de Taquari Vassouras no dia 30/03/2016.

A figura 43 ilustra uma fotografia em que se pode visualizar a depreciação por corrosão da estrutura e equipamentos na unidade de Taquari-Vassouras

Figura 43 – Exemplo de Corrosão dos Materiais na Unidade de Taquari-Vassouras.

Fonte: Autora, obtida em visita técnica na Unidade de Taquari Vassouras no dia 30/03/2016.

A figura 44 ilustra uma fotografia de vazamentos constatados na unidade de Taquari-Vassouras.

Figura 44 – Exemplo de Vazamento na Unidade de Taquari-Vassouras.

Fonte: Autora, obtida em visita técnica na Unidade de Taquari Vassouras no dia 30/03/2016.

As situações verificadas nas figuras 42, 43 e 44 ilustram alguns desses fatores que influenciam negativamente na capacidade de produção na unidade de Taquari-Vassouras.

3.2.9 ETAPA 9 – ANÁLISE DE VIABILIDADE DE ALTERAÇÕES E INVESTIMENTOS (TÉCNICO E ECONÔMICO)

O objetivo desta etapa é identificar solução técnica e correspondente viabilidade técnica e comercial para cada item dos fatores ou sub processos menos eficientes definidos na etapa 8.

A tabela 27 ilustra a solução técnica proposta para cada fator ou sub processo menos eficiente.

Tabela 27 – Solução Técnica para os Fatores ou Sub Processos Menos Eficientes definidos na etapa 8.

Fator ou Sub Processo menos eficiente	Solução Técnica
Vazamentos em geral	Corrigir os vazamentos, principalmente os de óleo que tem mais impacto ambiental.
Corrosão causada pelo KCl	Reparar inicialmente os motores quando estiverem em parada de operação e pintá-los com tinta apropriada para contato com o cloreto de potássio, na classificação internacional escala NEMA 4x.
Poeira	Melhor controle da manutenção dos filtros.
Manutenção do tipo corretiva nos equipamentos, ausência de manutenção preventiva e ou preditiva.	Propor e estruturar uma política de manutenção, preventiva e preditiva.
Escassez de Água	Implantar cisternas para serem utilizadas como redundância ao suprimento de água e não parar o processo devido à falta de água.
Sistema de Automação Elétrico somente para a subestação principal da unidade	Aproveitar o novo projeto de expansão da unidade de Taquari-Vassouras e já considerar relés inteligentes em IEC 61850 e sistema de automação elétrico para as secundárias.
Falta de integração das informações entre os supervisórios da usina e mina	Aproveitar o novo projeto de expansão da unidade de Taquari-Vassouras e implantar um DCS (sigla do inglês <i>Distributed Control System</i> , traduzindo sistema de controle distribuído) integrando os supervisórios da Usina e Mina.
Elevado tempo de parada de manutenção para os moinhos	Implantar um sistema avançado para o controle dos moinhos, assim será possível otimizar o consumo de energia, diminuir o tempo de parada, e o risco do trabalho de manutenção no espaço confinado interno aos moinhos.

Fonte: Autora.

Após as soluções sugeridas, buscou-se definir uma escala de prioridade em conjunto com o responsável da manutenção, para a implantação de cada solução por meio dos seguintes níveis: alta, média e baixa.

Esses conceitos referem-se como: nível alta refere-se a prioridade máxima e baixa a menor prioridade.

Para os custos também foi solicitado ao responsável da manutenção da unidade a definição por base em sua experiência o nível estimado dos custos divididos entre: alto, médio e baixo. Esta definição considerou uma comparação da estimativa entre os custos dos fatores apresentados na etapa 8.

Para se analisar a viabilidade comercial é importante avaliar além do custo de implantação a urgência para a referida implantação.

A tabela 28 ilustra uma comparação da urgência de implantação versus o custo necessário para realizá-la.

Tabela 28 – Análise comparativa urgência x custos de implantação.

Fator ou Sub Processo menos eficiente	Urgência	Custos
Vazamentos em geral	Alta	Médio
Corrosão causada pelo KCl	Baixa	Alto
Poeira	Alta	Baixo
Manutenção do tipo corretiva nos equipamentos, ausência de manutenção preventiva e ou preditiva	Alta	Médio
Escassez de Água	Média	Baixo
Sistema de Automação Elétrico somente para a subestação principal da unidade	Baixa	Médio
Falta de integração das informações entre os supervisórios da usina e mina	Média	Médio
Elevado tempo de parada de manutenção para os moinhos	Média	Alto

Fonte: Autora.

Para se definir as prioridades de implantação utilizou-se como premissa a relação da maior urgência com o respectivo menor nível de custo. Ordenando assim:

- a) Urgência Alta com Custo Baixo;

- b) Urgência Alta com Custo Médio;
- c) Urgência Alta com Custo Alto;
- d) Urgência Média com Custo Baixo;
- e) Urgência Média com Custo Médio;
- f) Urgência Média com Custo Alto;
- g) Urgência Baixa com Custo Baixo;
- h) Urgência Baixa com Custo Médio;
- i) Urgência Baixa com Custo Alto;

A tabela 29 apresenta as definições das prioridades de implantação para a solução dos fatores ou sub processos menos eficientes identificados na etapa 8 da metodologia TAIMISEP, observando o resultado da comparação da urgência versus os custos de implantação apresentados na tabela 28.

As prioridades estão apresentadas nos níveis de 1 a 8, onde a prioridade 1 refere-se a máxima prioridade e a prioridade 8 a menor prioridade para a implementação da solução proposta.

Tabela 29 – Definição da Prioridade de Implantação.

Fator ou Sub Processo menos eficiente	Prioridade de Implantação
Vazamentos em geral	3
Corrosão causada pelo KCl	8
Poeira	1
Manutenção do tipo corretiva nos equipamentos, ausência de manutenção preventiva e ou preditiva	2
Escassez de Água	4
Sistema de Automação Elétrico somente para a subestação principal da unidade	6
Falta de integração das informações entre os supervisórios entre usina e mina	5
Elevado tempo de parada de manutenção para os moinhos	7

Fonte: Autora.

Este resultado da implantação da TAIMISEP faz parte do relatório final a ser entregue para os responsáveis por implantações da unidade de Taquari-Vassouras.

3.2.10 ETAPA 10 – PROPOSTA DE PROJETO DE AUTOMAÇÃO

O objetivo da etapa 10 é de eleger uma das soluções propostas para melhorar a eficiência do processo da unidade de Taquari-Vassouras apresentadas na etapa 9, e elaborar uma proposta de projeto de automação para sua implementação.

Visando auxiliar a definição de qual solução a ser considerada para a elaboração da proposta de automação, realizou-se um estudo comparativo entre a prioridade de implantação definida na etapa 9 com a verificação se a solução proposta, também realizada no item 9, pode ser solucionada por meio de um projeto de automação industrial.

A tabela 30 apresenta a análise comparativa da prioridade de implantação da solução definida para cada item, verificando-se a solução pode ser alcançada por meio de um projeto de automação industrial.

Tabela 30 – Análise comparativa da Prioridade de Implantação x Relação com Automação Industrial

Fator ou Sub Processo menos eficiente	Prioridade de Implantação	Solução com Automação Industrial?
Vazamentos em geral	3	Não
Corrosão causada pelo KCl	8	Não
Poeira	1	Não
Manutenção do tipo corretiva nos equipamentos, ausência de manutenção preventiva e ou preditiva.	2	Não
Escassez de Água	4	Não
Sistema de Automação Elétrico somente para a subestação principal da unidade	6	Sim
Falta de integração das informações entre os supervisórios da usina e mina	5	Sim
Elevado tempo de parada de manutenção para os moinhos	7	Sim

Fonte: Autora.

Assim, definiu-se o item de maior prioridade de implantação e que permite ser solucionado com automação industrial para elaborar a proposta do projeto de automação da metodologia TAIMISEP.

O fator menos eficiente do processo escolhido para ser solucionado com um projeto de automação foi “Falta de integração das informações entre os supervisórios da usina e mina”.

Observe-se que este item concorre para a melhoria do fator nomeado “Sistema de Automação Elétrico somente para a subestação principal da unidade” por meio de um único projeto de automação.

Assim, será possível solucionar dois fatores menos eficientes do processo da unidade de Taquari-Vassouras identificados na etapa 9 com um único projeto, por uma solução técnica que considera a otimização de custos para suas implementações.

A proposta do projeto de automação da metodologia TAIMISEP sugere aproveitar o investimento para expansão da capacidade de produção da unidade apresentado pela equipe da VALE S.A. durante a visita na unidade de Taquari-Vassouras.

O projeto de expansão estima atingir a produção de 700 mta de potássio na unidade. Essa produção adicional será possível devido ter sido encontrado o mineral carnalita dentro da área da unidade e assim, aumentando a vida útil da exploração do KCl no complexo.

Para se obter o potássio da carnalita será necessário extrair o minério por meio do método por dissolução, distinto do processo existente na mina subterrânea utilizada na unidade de Taquari-Vassoura para extrair a silvinita.

Além do novo tipo de extração, serão necessárias alterações na usina de beneficiamento, uma vez que a fórmula química da carnalita ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) é mais complexa do que a da silvinita ($\text{KCl} + \text{NaCl}$) e requer a construção de linha adicional com processo dedicado para se obter o KCl a partir carnalita.

Com a alteração do processo será necessária a construção de uma nova subestação principal com entrada de 69kV e potência de 20MVA para alimentar o processo adicional. Será necessário revitalizar também uma subestação secundária existente e a construção de uma nova subestação secundária, ambas de 13,8KV.

Adicionalmente ao escopo elétrico para se controlar o processo adicional da carnalita, será necessário expandir o sistema de automação existente.

Assim, a sugestão de proposta de projeto de automação da metodologia TAIMISEP é a de considerar para esta nova área, um sistema DCS novo com controladores de processo para incorporar os sistemas existentes da mina e da usina no mesmo DCS.

Essa sugestão é desafiadora face à necessidade da alteração da filosofia do sistema de automação utilizado na fábrica. A unidade utiliza o conceito de PLC (sigla do inglês *Programmable Logic Controller*) com sistema supervisório.

A solução por meio de um sistema DCS permite auxiliar na integração entre os sistemas da Mina e da Usina de Beneficiamento, que atualmente funcionam de forma isolada, como “ilhas” sem troca de informações.

A integração dar-se-ia por meio do protocolo internacional OPC, que receberia as informações de ambos os sistemas e permitiria a operação integrada em uma única plataforma. Os controladores do novo processo da carnalita se comunicariam diretamente com o DCS novo via protocolo ethernet TCP/IP.

A figura 45 apresenta a sugestão da proposta de automação para o processo da metodologia TAIMISEP.

Figura 45 – Proposta de Projeto de Automação - Processo.

Fonte: Autora.

Futuramente com a aprovação deste investimento, pode-se criar um planejamento para a migração dos PLCs existentes para controladores nativos do DCS novo.

A figura 46 apresenta a macro arquitetura da sugestão da proposta de automação para o processo da metodologia TAIMISEP.

Figura 46 – Macro Arquitetura de Projeto de Automação - Processo.

Fonte: Autora.

Com relação à solução do fator menos eficiente referido como “Sistema de Automação Elétrico somente para a subestação principal da unidade”, uma vez que será necessário revitalizar uma das subestações secundárias e adicionar uma nova subestação também secundária, sugere-se que os novos relés a serem considerados já estejam preparados para a norma IEC 61850.

A norma IEC 61850 é referência a padrão industrial para projetos de automação elétrica. Essa norma estabelece que diferentes fabricantes sigam os mesmos critérios para a criação e execução de projetos de eletrificação e garante a performance dos sistemas implantados quanto à interoperabilidade, flexibilidade e estabilidade.

Alguns dos sistemas DCS do mercado permitem a integração da automação de processo e a automação da eletrificação em um único sistema.

Assim, a proposta do projeto de automação da metodologia TAIMISEP sugere a utilização do mesmo DCS para a integração de processo e elétrica, considerando a norma IEC61850 para essa implementação.

O proposta do projeto de automação considera que o sistema SCADA (do inglês *Supervisory Control and Data Acquisition*) existente na subestação principal seja desconsiderado e os relés que utilizam a norma IEC61850 sejam conectados e configurados diretamente no novo DCS.

Para a nova subestação principal, nova subestação secundária da carnalita e subestação a ser revitalizada, a proposta do projeto de automação considera que os novos relés irão se comunicar utilizando norma IEC61850 encapsulada no meio ethernet e serão configurados no novo DCS.

Com relação as demais secundárias existentes, a proposta de projeto de automação sugere que sejam considerados conversores dos diversos protocolos encontrados nos relés da unidade para o protocolo Modbus TCP.

O protocolo Modbus TCP foi definido devido utilizar o meio físico ethernet para sua transmissão, sendo o mesmo meio físico utilizado para a comunicação por meio

da norma IEC61850, padronizando assim a infraestrutura de rede da unidade de Taquari-Vassouras.

A figura 47 apresenta a sugestão da proposta de automação da metodologia TAIMISEP para a eletrificação da unidade de Taquari-Vassouras.

Figura 47 – Proposta de Projeto de Automação – Elétrica.

Fonte: Autora.

Futuramente com a aprovação deste investimento, sugere-se criar um planejamento para a migração dos relés das secundárias existentes para relés nativos do protocolo ethernet com a norma IEC61850 para a comunicação com o Sistema DCS.

A figura 48 apresenta a macro arquitetura da sugestão da proposta de automação para a eletrificação da metodologia TAIMISEP.

Figura 48 – Macro Arquitetura da Proposta de Projeto de Automação - Elétrica.

Fonte: Autora.

A metodologia TAIMISEP considera que a proposta de automação utilize os conceitos da metodologia MPCTAI de Silva (2013).

Para tanto, deve-se verificar se a proposta de automação da metodologia TAIMISEP considera conceitos que permitam a convergência entre a tecnologia de automação com a tecnologia da informação.

Os seguintes conceitos estão considerados na proposta do projeto de automação da metodologia TAIMISEP:

- a) Padronização da infraestrutura de rede utilizando o meio ethernet;
- b) Protocolos de acordo com as últimas tendências de mercado;
- c) Sistema DCS com proteção contra ataques cibernéticos nativo;
- d) Sistema DCS que permite conexão com sistemas gerenciais corporativos, com isolamento das redes por meio de equipamento firewall;
- e) Equipamentos Switches que utilizam softwares de gerenciamento de redes e tráfego de dados;
- f) Virtualização de servidores;
- g) Sistema DCS com redundância de sistema de backup de informações;
- h) Sistema DCS com software de antivírus instalado e mantido pela equipe de TI da unidade.

Após a confirmação de que a proposta de projeto de automação da metodologia TAIMISEP considera os conceitos da metodologia MCPTAI de Silva (2013), a mesma é apresentada para a equipe de implantação da unidade de Taquari-Vassouras.

3.2.11 ETAPA 11 – ESTIMATIVA DE DESEMPENHO

O objetivo da etapa 11 é de estimar o desempenho da implementação do projeto de automação proposto na etapa 10 da metodologia TAIMISEP. Para se elaborar as estimativas de desempenho utilizou-se informações obtidas em estudos de caso de projetos implementados com sistema DCS nomeado 800xA da empresa ABB Ltda.

Estes resultados decorrem de comparações entre diferentes funcionalidades e sistemas padrões de mercado. Esses dados são estimativos, conservadores e somente servem como referência para o projeto de automação proposto para este estudo de caso. A tabela 31 ilustra as funcionalidades que foram comparadas pelos estudos de caso da empresa ABB Ltda.

Tabela 31 – Comparação de funcionalidades de Sistemas de Automação.

Sistema e ou Funcionalidade A	Sistema e ou Funcionalidade B
Sistemas de Automação de Processo e Elétrica Isolados	Sistemas de Automação de Processo e Elétrica Integrados
Supervisório com PLCs	Sistema DCS
Automação de Sistema Elétrico sem utilizar a norma IEC61850	Automação de Sistema Elétrico utilizando a norma IEC61850
Sistema DCS sem proteção contra ataques cibernéticos	Sistema DCS com proteção contra ataques cibernéticos nativa
Infraestrutura de redes utilizando equipamentos switches não gerenciáveis	Infraestrutura de redes utilizando equipamentos switches gerenciáveis
Servidores dedicados para cada aplicação	Servidores virtualizados
Sistema de backup sem redundância	Sistema de backup sem redundância
Sistema de Automação sem software de antivírus	Instalação de software de antivírus

Fonte: ABB Ltda (2016).

Observe-se que os conceitos utilizados para a proposta de projeto de automação da metodologia TAIMISEP estão apresentados nos itens da coluna nomeada como “Sistema e ou Funcionalidade B” na tabela 31.

A tabela 32 apresenta uma análise estimativa de desempenho das funcionalidades da proposta do projeto de automação elaborado na etapa 10 da presente metodologia.

Tabela 32 – Análise Estimativa do desempenho das funcionalidades da Proposta de Projeto de Automação

Funcionalidades da Solução Proposta	Ganhos com a Solução	Estimativa de Desempenho
Integração de Automação de Processo e Elétrica no mesmo DCS	Operação centralizada, melhora na tomada de decisão dos operadores	Intangível
	Redução de falhas humanas	Intangível
	Otimização de custos de Hw e SW	-30%
	Redução de equipes de operação	-50%
	Aumento da Capacidade da produção	2%
Automação de Processo via DCS em substituição ao conceito PLC + Supervisório	Redução de horas de manutenção do sistema e comissionamento	-50%
Automação de Sistema Elétrico utilizando a norma IEC61850	Redução de cabeamento	-70%
	Redução de horas de desenvolvimento de projeto	-30%
	Redução tempo de comissionamento do sistema	-70%
	Redução de tempo de parada	-50%
	Mais informações no sistema: Controle, Supervisão, Proteção e Medição	Intangível
Padronização da infraestrutura de rede utilizando o meio ethernet	Aumento da velocidade de troca de informações	-70%
Protocolos de acordo com as últimas tendências de mercado	Garantia da maior disponibilidade no mercado de profissionais que tenham conhecimento para executar serviços necessários de manutenção e evolução dos sistemas.	Intangível
DCS com sistema de proteção cibernética nativo	Evitar o risco de invasões no sistema que causem paradas de produção, furto de informações, arquivos corrompidos	Intangível
Sistema DCS que permite conexão com sistemas gerenciais corporativos, com isolamento das redes por meio de equipamento firewall;	Evitar o risco de invasões no sistema, permite a elaboração de relatórios com dados obtidos em tempo real.	Intangível
Equipamentos Switches que utilizam softwares de gerenciamento de redes e tráfego de dados;	Informações centralizadas que facilitam a tomada de decisão	Intangível
Virtualização de Servidores	Redução de espaço, racks, infraestrutura	-30%
	Redução na quantidade de máquinas	-70%
	Redução no consumo de energia	-30%
Sistema DCS com redundância de sistema de backup de informações	Evitar o risco de perda de informações	Intangível
Sistema DCS com software de antivírus instalado e mantido pela equipe de TI da unidade.	Evitar o risco de invasões no sistema que causem paradas de produção, furto de informações, arquivos corrompidos	Intangível

Fonte: Autora.

3.2.12 ETAPA 12 – VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO DAS EXPECTATIVAS

O objetivo da etapa 12 é a apresentação da proposta de projeto de automação para a equipe responsável pela implantação de projetos de automação e verificar se o atendimento às expectativas técnicas.

Assim, esta proposta do projeto de automação, para este estudo de caso, foi apresentada via teleconferência.

Os responsáveis pelo projeto de expansão da unidade de Taquari-Vassouras consideraram de grande valia a solução apresentada, uma vez que já seria necessário investir em um novo sistema de automação para expandir o processo explorando a carnalita encontrada na área da unidade, e entenderam que os ganhos com a solução justificariam o investimento.

Adicionalmente a proposta do projeto de automação foi apresentado os demais fatores ou sub processos menos eficientes encontrados na unidade e as respectivas prioridades suas resoluções.

A proposta de projeto será apresentada pela equipe de automação que recebeu o trabalho para os responsáveis pela aprovação da verba de investimento no projeto de expansão da unidade.

4 CONCLUSÕES

A motivação desta dissertação surgiu a partir constatação da importância do potássio para produção agrícola e da necessidade do desenvolvimento de metodologia específica para sua produção industrial visando quatro metas: significativos ganhos de aumento da produtividade, incremento de produção de potássio, permitir a redução da demanda de energia elétrica e mitigação de impactos ambientais.

A identificação que a demanda atual de potássio situa-se muito aquém da capacidade de demanda mundial, reforça a importância de estudos que permitam promover melhorias nas unidades produtoras em operação.

Este foi o objetivo do desenvolvimento da metodologia TAIMISEP que, utilizando conceitos de tecnologia da automação, da informação e sustentabilidade, permita o desenvolvimento de soluções viáveis técnica e economicamente, em unidades produtoras de potássio.

A metodologia TAIMISEP incorporou e adaptou as metodologias: MAPEAS de Züge (2014) e MPCTAI de Silva (2013).

Esta fusão promoveu a utilização de conceitos de convergência da TA e TI de Silva (2013) com conceitos de PDAI, Planejamento Estratégico e o Modelo GRI de relatório de sustentabilidade apresentados Züge (2014).

A metodologia TAIMISEP foi estruturada para contribuir com o desenvolvimento sustentável, a partir de soluções de automação que convergem a TA e a TI em projetos aplicados à indústria produtora de potássio.

A aplicabilidade da metodologia TAIMISEP foi comprovada em estudo de caso realizado na unidade operacional de Taquari-Vassouras da VALE S.A., a única fábrica produtora de potássio localizada no Brasil.

O estudo de caso foi iniciado a partir de visita técnica ao site da unidade de Taquari-Vassouras, posteriormente foram realizadas cada uma das 12 etapas da metodologia TAIMSEP.

Foram realizadas diversas conferências para analisar e executar as etapas da metodologia. Como resultado foi apresentado um projeto de automação para solucionar um dos fatores identificados menos eficientes na unidade para a equipe responsável pela implantação de projetos de automação.

Adicionalmente, foram identificados outros fatores menos eficientes identificados com potencial de melhoria com aplicação da metodologia e projeto de automação.

A TAIMISEP promove uma organização e estruturação das atividades, facilitando a identificação dos fatores ou sub processos menos eficientes na fábrica que está sendo analisada e permite soluções por meio de um projeto de automação. As etapas da metodologia são:

- a) Mapeamento dos indicadores de sustentabilidade pertinentes;
- b) Mapeamento do processo de extração;
- c) Análise dos principais equipamentos;
- d) Identificação das principais variáveis controladas e controladoras referentes aos equipamentos selecionados;
- e) Identificação dos principais fatores ou sub processos menos eficientes;
- f) Análise da viabilidade técnica e econômica das soluções propostas;
- g) Definição das prioridades para as implementações das soluções;
- h) Proposta de projeto de automação permita a convergência de soluções com a tecnologia da informação;
- i) Apresentação da proposta de projeto de automação para a equipe responsável por novas implantações;
- j) Implantação do projeto proposto.

Adicionalmente à aplicação da metodologia TAIMISEP em estudo de caso, a presente dissertação pesquisou o estado da arte dos seguintes temas estruturantes e correlatos como contribuições:

- a) Revisão da história da adubação;
- b) Revisão da definição, composição e classificação dos fertilizantes;
- c) Levantamento da produção de fertilizantes;
- d) Apresentação dos métodos de extração de potássio;
- e) Apresentação de exemplos de indicadores de produção e sustentabilidade em fábricas produtoras de Potássio;
- f) Levantamento dos modelos de relatórios de sustentabilidade utilizados nas maiores empresas produtoras de Potássio;
- g) Incorporar os conceitos das metodologias MAPEAS de Züge (2014) e MPCTAI de Silva (2013).

Conclui-se que a metodologia desenvolvida contribuiu para a identificação de soluções que melhorem a capacidade de produção de potássio na unidade de Taquari-Vassouras com ganhos de sustentabilidade.

Outro benefício decorrente desta dissertação é o eminente alavancar de negócios, uma vez que a equipe que recebeu a proposta do projeto de automação do estudo de caso na Unidade de Taquari Vassouras avaliou como relevante a proposta apresentada e considerou incorporar os conceitos em futuro projeto de expansão da fábrica.

Observe-se que a proposta de metodologia permite que sejam realizados estudos complementares, novas pesquisas e desdobramentos deste trabalho.

Sugere-se que sejam realizados as seguintes pesquisas:

- a) Análise, verificação dos resultados obtidos com os estimados na presente dissertação, caso seja realizada a implementação da solução de automação proposta;
- b) Desenvolvimento de soluções para os demais fatores ou sub processos menos eficientes identificados, considerando a convergência da TA e TI e fatores para melhorias sustentáveis;
- c) A verificação se a metodologia TAIMISEP é aplicável em outros processos de extração como por exemplo: minério de ferro, ouro, zinco, nióbio entre outros;
- d) Aplicação da metodologia TAIMISEP em outra fábrica produtora de potássio no mundo.

Outra atividade igualmente importante para a continuidade do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa é a elaboração de planilhas modelo para as etapas da metodologia que servirão como guias para novas implementações. Desta forma a aplicação da TAIMISEP poderá ser efetuada de modo mais eficiente e padronizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA JR., A. R. **A planta desfigurada:** crítica da representações da planta como máquina química e como mercadoria. 1995. 447p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 1995.
- BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade:** uma análise comparativa. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005.
- BONNER, J.; VARNER, J. E. **Plant biochemistry.** 3 ed. New York, 1976. 925p.
- COGHI, M. A. **PDAl** - Plano Diretor da Automação Integrado. Paraná, 2012. Disponível em: <http://www.jornalparana.com.br/materia>. Acesso em: 19/01/2012.
- DIAS, J. C. **Raízes da fertilidade.** São Paulo: Calandra Editorial, 2005.
- DRUCKER, P. F. **Introdução à administração.** 3. ed. São Paulo: Pioneira, 1998.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2013 - Ano Base 2012: **Relatório Síntese.** Rio de Janeiro: EPE, 2013.
- VALE S.A. **Comunicação e site institucional www.vale.com.** 2013 - 2016.
- FIGUEIREDO, A.E.P. **Automação portuária e segurança do trabalho.** Tese (Doutorado) - GAESI PEA USP, 2015.
- GIRACCA, E. M. **Definições fertilizantes.** Disponível em: http://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes_micronutrientes.aspx. Acesso em: 07/08/2014
- GONÇALVES, L. **Plano de negócios mercado de fertilizantes no Brasil.** Osasco: s.n., 2012.
- HARDI, P.; ZDAN, T. **Assessing sustainable development:** principles in practice. International Institute for Sustainable Development. Winnipeg. 1997.
- HARVEY, D. **População, recursos e a ideologia da ciência.** In: SELEÇÕES DE TEXTOS 7- Associação do Geógrafos Brasileiros- Seção São Paulo, São Paulo, 1981.
- LAPIDO-LOURERO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, E J. **Fertilizantes:** agroindústria & sustentabilidade. Rio de Janeiro, 2008.
- LIGTERINGEN, E. **Qual é a importância dos relatórios de sustentabilidade.** Reportagem realizada pela Maria Bitarello da Abril para o Planeta Sustentável, Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/mundo/noticias/qual-e-a-importancia-dos-relatorios-de-sustentabilidade>>, publicado em 06/07/2012. Acesso em: 08/09/2015.

MARTINS, E. S. et al. **Rochas e minerais industriais**. CETEM, 2. ed., 2008. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/agrominerais/livros/09-agrominerais-rochas-silicaticas.pdf>. Acesso em: 05/08/2014.

MONTE, M. B. M. Cloreto de potássio – Mina de Taquari-Vassouras. **Comunicação Técnica elaborada para o livro Usina de Beneficiamento de Minérios do Brasil, Centro de Tecnologia Mineral (Cetem), dez. 2002.**

MORAIS NETO, S. **Fertilizantes e algumas reações no solo junto com corretivos**. Planaltina, DF 2010.

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. **Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. p.61-66 (Série Estudos e Documentos).

OGATA, K. **Engenharia do Controle Moderno**. 4ª. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2003.

OLIVEIRA, D. P. R. **Planejamento Estratégico: Conceitos, Metodologia e Práticas**. 10ª. ed. São Paulo: Ed. Atlas, 1996. 294 p.

PEREIRA, S. L. **Ecoeconomia tecnológica cooperativa: uma proposta conceitual: ciência e tecnologia da automação como ferramentas de inclusão social e de suporte ao desenvolvimento sustentável**. 2009. 169p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2009.

PERUCCA, C. F. **Potash processing in Saskatchewan: a review of process technologies**. Publicado no CIM Bulletin, da Canadian Institute of Mining, 2000. Disponível em: <<http://technology.infomine.com>>. Acesso em: 04/2/2014.

POTASH CORP, 2015. **Relatórios de Sustentabilidade dos anos de 2011, 2012, 2013**. Disponível em: <<http://www.potashcorp.com/sustainability>>, Acesso em: 12/06/2015.

QUARTUCCI, J. P. **Análise da competitividade do cluster da indústria de fertilizantes da região metropolitana de Salvador**, 2008. Disponível em: <http://www.adm.ufba.br/pt-br/publicacao/analise-competitividade-cluster-industria-fertilizantes-regiao-metropolitana-salvador>. Acesso em: 10/06/2015.

ROCHA, G.; PEREIRA, I. **População e recursos: crescimento populacional e o uso dos recursos hídricos na cidade de Tucuruí/PA**, 2011. Disponível em: <www.abep.nepo.unicamp.br>. Acesso em: 06/08/2013.

SCHMIDHEINY, S. **Changing course: a global business perspective on development and the environment**. Boston: MIT Press, 1992.

SCHROEDER, D. Relationship between soil potassium and the potassium nutrition of the plant. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 11. 1978, Bern. **Proceedings...** Bern: International Potash Institute, 1979. p. 43-63

SCHULTZ, H. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**, v. A22, VCH, 1993.

SILVA, E.B. **Metodologia para o planejamento da convergência da tecnologia da informação (TI) & tecnologia da automação (TA) em processos industriais**. 2013. 155p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2013.

SIMÃO FILHO, A.; PEREIRA, S. L. **A empresa ética em ambiente**: a contribuição da empresa e da tecnologia da automação para um desenvolvimento sustentável inclusivo. São Paulo: Quartier Latin, 2014

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2015, **Mineral commodity summaries 2015**: U.S. Geological Survey, 196 p., Disponível em <<http://dx.doi.org/10.3133/70140094>>, Acesso em 03/07/2015.

VILLAS BÔAS, R. C. **Indicadores de sustentabilidade para a indústria extrativa mineral**: estudos de caso. Rio de Janeiro: CETEM/MCT/CNPq, 2011.

ZÜGE, C. T.Y. **Alinhamento do planejamento estratégico com o plano diretor de automação industrial em pró do desenvolvimento sustentável**. 2014. 129p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2014. "