



A adoção da Inteligência Artificial na Exploração e Produção de Petróleo e Gás

Jéssica Barbosa Caldeira Lima

Projeto de Final de Curso

Orientadora

Prof. Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Outubro de 2020

LIMA, Jéssica.

A adoção da inteligência artificial na exploração e produção de petróleo e gás/ Jéssica Barbosa Caldeira Lima. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2020.

x, 144 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2020.

Orientadora: Flávia Chaves Alves.

1. Inteligência Artificial. 2. Exploração e Produção. 3. Petróleo e Gás. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Flávia Chaves Alves, D.Sc.

"Some people call this artificial intelligence, but the reality is this technology will enhance us. So instead of artificial intelligence, I think we'll augment our intelligence."

- Ginni Rometty

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, eu gostaria de agradecer aos meus pais, Marilene e José Carlos, que moldaram o meu caráter e sempre me incentivaram a buscar os meus objetivos e sonhos, da educação infantil à faculdade. Aos meus amigos, agradeço por tornarem a minha jornada acadêmica muito mais alegre e prazerosa. À minha família e ao meu namorado, Hiuri, obrigada por todo o encorajamento, apoio e carinho.

Sou grata à Universidade Federal do Rio de Janeiro, que além de promover um grande impacto para a sociedade brasileira, me estimulou enquanto aluna a pensar criticamente e buscar novos aprendizados em níveis que ultrapassam as salas de aula.

Agradeço à Escola de Química da UFRJ e ao seu corpo docente por promoverem ferramentas, recursos e métodos de ensino que tornam o profissional de engenharia química muito mais preparado e resiliente a desafios em diversas áreas de atuação.

À minha orientadora, Flávia Alves, o meu imenso agradecimento por toda a atenção e dedicação concedida a este trabalho que, sem dúvidas, não seria o mesmo sem a sua contribuição imensurável.

Por fim, expresso a minha profunda gratidão à IBM, empresa em que me orgulho de ter integrado como estagiária em desenvolvimento de negócios da sua unidade de inovação IBM Research. Em especial, agradeço ao Alexandre Pfeifer, um verdadeiro exemplo profissional para a minha carreira, que me despertou o interesse de entender com mais detalhes os impactos da transformação digital no setor petrolífero, o tema inspirado para esse presente trabalho.

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia Química.

A ADOÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS

Jéssica Barbosa Caldeira Lima

Outubro, 2020

Orientadora: Prof. Flávia Chaves Alves, D.Sc.

A Indústria de Óleo e Gás tem liderado por décadas a oferta energética mundial, contribuindo para manufatura de produtos presentes no cotidiano da população. O setor de Exploração e Produção (E&P) de petróleo e gás, ou Upstream, desempenha o papel inicial nessa cadeia de valor, ao descobrir e extrair essas commodities de regiões marítimas ou terrestres de alta complexidade logística. De modo a auxiliar essas empresas, as prestadoras de serviço no campo petrolífero atuam fornecendo equipamentos e soluções para aumentar a eficiência e segurança operacional que ocorrem nesses ambientes tão remotos e perigosos. No entanto, eventos como a queda dos preços de petróleo, associados à transição energética para fontes renováveis e aumento das regulamentações por diferentes autoridades e pressões da sociedade civil vêm exigindo mudanças das empresas do setor para se manterem competitivas. Para isso, as petrolíferas têm transformado o setor rumo à Era digital, que traz tecnologias disruptivas capazes de promover grandes resultados com menos esforço e em menos tempo, tais como a Inteligência Artificial (IA). Essa tecnologia se destaca atualmente no que diz respeito a uma melhor tomada de decisão pautada no histórico de dados, sejam eles em formato de imagens, textos ou áudios. Com base nesse cenário, o presente estudo tem como objetivo principal analisar a adoção da IA nas atividades de E&P, de modo a primeiro avaliar a mudança no ecossistema de E&P influenciado por iniciativas da IA e em seguida expor as soluções de IA presentes no mercado que atuam na resolução de desafios técnicos e de negócios relevantes no contexto atual desse setor. As principais conclusões desse estudo apontam que as petrolíferas têm permitido a entrada de novas empresas de tecnologia de diferentes portes no seu ecossistema de parcerias, transformando a sua forma de atuação perpetuada por décadas. Além disso, a IA tem se tornado uma das ferramentas-chave para solucionar de forma parcial, alternativa ou até mesmo completa os mais diversos desafios do setor Upstream que tanto comprometem a sua liderança no mercado energético, quanto a sua sobrevivência a longo prazo.

ÍNDICE

I	Introdução	1
II	A Indústria de O&G	4
II.1	A cadeia de valor da Indústria O&G	4
II.2	Exploração e produção de petróleo	6
II.2.1	Concessão de acesso	7
II.2.2	Exploração	8
II.2.3	Avaliação	11
II.2.4	Desenvolvimento	12
II.2.5	Produção	13
II.2.6	Descomissionamento	16
II.2.7	As operadoras em E&P	16
II.2.8	As prestadoras de serviço em E&P	17
III	A Transformação Digital e o seu papel na E&P	18
III.1	A Era digital e suas tecnologias no contexto de E&P	18
III.2	A Inteligência Artificial e suas tecnologias em E&P	21
III.2.1	<i>Machine Learning</i>	22
III.2.2	<i>Natural Language Processing</i>	24
III.2.3	<i>Expert System</i>	26
III.2.4	<i>Speech e Vision</i>	28
III.2.5	<i>Planning, Scheduling e Optimization</i>	29
III.2.6	<i>Robotics</i>	29
III.3	A Inteligência Artificial e a relação com as outras tecnologias digitais	30
III.4	Os Desafios para a Implementação da IA em E&P	34
III.5	O ecossistema de parcerias em E&P na transformação digital e IA	37
IV	Metodologia	40
IV.1	Construção e análise do Ecossistema da IA para E&P	40

IV.2	Estudo dos desafios técnicos e de negócios	45
IV.2.1	Desafios técnicos	45
IV.2.2	Desafios de negócios	49
V	Os desafios da E&P	52
V.1	Desafios técnicos	52
V.1.1	Imagens de subsuperfície de alta resolução.....	52
V.1.2	Reutilização da água produzida	53
V.1.3	Manipulação Molecular <i>In Situ</i>	54
V.1.4	Aumento do fator de Recuperação de Hidrocarbonetos	54
V.1.5	Captação e Fixação de Carbono	55
V.2	Desafios de negócios	56
V.2.1	Recursos Humanos	56
V.2.2	Gerenciamento de dados e ativos	57
V.2.3	Otimização na produção	58
V.2.4	Mercado e fatores geopolíticos	58
V.2.5	Regulamentações	59
VI	Resultados e Discussão	61
VI.1	Ecosistema da IA para E&P	61
VI.1.1	Análise pela perspectiva das Operadoras em E&P	62
VI.1.2	Análise pela perspectiva das Prestadoras de serviço em E&P	66
VI.1.3	Análise pela perspectiva das Prestadoras de serviço em IA	69
VI.1.4	Análise geral dos Ecosistemas de todos os atores envolvidos.....	73
VI.2	Desafios técnicos e de negócios	75
VI.2.1	Análise das soluções em IA nos desafios técnicos	75
VI.2.2	Análise das soluções em IA nos desafios de negócios	79
VII	Conclusão	84
	Referências Bibliográficas.....	88

APÊNDICE A - Metodologia adotada para busca por palavras-chave.	119
APÊNDICE B - Programas em IA adotados pelas operadoras em E&P.....	120
APÊNDICE C - Programas em IA adotados pelas prestadoras de serviço em E&P.	125
APÊNDICE D - Programas para E&P adotados pelas prestadoras de serviço em IA.	130
APÊNDICE E - Soluções adotadas em IA para os desafios técnicos.	138
APÊNDICE F - Soluções adotadas em IA para os desafios de negócios.....	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1	Cadeia de valor em O&G	6
Figura II.2	O ciclo de vida do campo petrolífero e o típico fluxo de caixa cumulativo	7
Figura II.3	Fases e despesa de um programa típico de exploração	9
Figura II.4	Levantamento sísmico <i>onshore</i>	10
Figura II.5	Levantamento sísmico <i>offshore</i>	10
Figura II.6	Esquema das instalações contidas em uma plataforma de petróleo	13
Figura II.7	Perfil idealizado de produção de petróleo	14
Figura III.1	A frequência e interdependência entre as tecnologias digitais	20
Figura III.2	Esquematização dos domínios da Inteligência Artificial	22
Figura III.3	Relação entre IA e <i>Data science</i>	23
Figura III.4	Diagrama de interseção entre NLP e seus campos relacionados	25
Figura III.5	Esquema de um Sistema Especialista	27
Figura III.6	Associação das tecnologias digitais	31
Figura III.7	Soluções digitais desenvolvidas por etapa da E&P	33
Figura III.8	Nível de progresso de soluções IA por tipo de atividade de E&P	34
Figura III.9	Desafios da Implementação de IA	36
Figura IV.1	Prestadoras de serviços em IA	42
Figura VI.1	Atores versus Receita de 2019	61
Figura VI.2	Empresas Operadoras em E&P e suas parcerias com as Prestadoras de serviço em IA	65
Figura VI.3	Empresas Prestadoras de serviço em E&P e suas parcerias com Prestadoras de serviço em IA	68
Figura VI.4	Empresas Prestadoras de serviço em IA e suas parcerias com especialistas em E&P	72
Figura VI.5	Tecnologias utilizadas nos programas de IA para E&P versus Predominância	74

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela IV.1	Critérios adotados pela seleção dos atores	41
Tabela IV.2	Relação das empresas selecionadas para o estudo do ecossistema de IA aplicada à E&P	41
Tabela IV.3	Critérios de classificação do tamanho de uma empresa	44
Tabela IV.4	Desafios técnicos extraídos da SPE	46
Tabela IV.5	Objetivos gerais extraídos da SPE	47
Tabela VI.1	Programas de IA das Operadoras IOCs em E&P	63
Tabela VI.2	Descrição dos programas de IA adotados pelas IOCs	64
Tabela VI.3	Programas de IA das Operadoras NOCs em E&P	64
Tabela VI.4	Programas de IA das PSEPs - Especialistas	67
Tabela VI.5	Programas de IA das PSEPs – Indústrias diversas	67
Tabela VI.6	Programas de IA para E&P das PSIAs Referências em IA	70
Tabela VI.7	Programas de IA para E&P das PSIAs Referências em E&P e IA	70
Tabela VI.8	Programas de IA para E&P das PSIAs Referências em E&P	71
Tabela VI.9	Desafios técnicos e seus objetivos gerais	76
Tabela VI.10	Descrição das possíveis soluções adotadas para os desafios técnicos	77
Tabela VI.11	Classificação das soluções de IA encontradas para os desafios técnicos	78
Tabela VI.12	Objetivos específicos dos desafios de negócios	79
Tabela VI.13	Descrição das possíveis soluções adotadas para os desafios de negócios	81
Tabela VI.14	Classificação das soluções de IA encontradas para os desafios de negócios	83

ÍNDICE DE SIGLAS

O&G	Óleo e Gás
E&P	Exploração e Produção
IA	Inteligência Artificial
UPGN	Unidade Processadora de Gás Natural
PDC	Plano de Desenvolvimento de Campo
EOR	<i>Enhanced Oil Recovery</i>
NOC	<i>National Oil Company</i>
IOC	<i>International Oil Company</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
DT	<i>Digital Twin</i>
ML	<i>Machine Learning</i>
DL	<i>Deep Learning</i>
ANN	<i>Artificial Neural Networks</i>
CPU	<i>Central Processing Units</i>
HPC	<i>High Performance Computing</i>
GPU	<i>Graphic Processing Units</i>
NLP	<i>Natural Language Processing</i>
ES	<i>Expert System</i>
CV	<i>Computer Vision</i>
RPA	<i>Robotic Process Automation</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
DE	Dados Estruturados
DNE	Dados Não Estruturados
PSEP	Prestadora de Serviço em E&P
PSIA	Prestadora de serviço em IA
IPTC	<i>International Petroleum Technology Conference</i>
SPE	<i>Society of Petroleum Engineers</i>
WPC	<i>World Petroleum Council</i>
P&D	Pesquisa & Desenvolvimento
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i>
BSE	Bomba Submersível Elétrica

I Introdução

O petróleo e o gás natural são combinações de carbono e hidrogênio, formados sob intensa pressão e calor a partir da decomposição de matéria orgânica enterrada por milhões de anos a quilômetros de distância abaixo da superfície da Terra. Esses dois produtos são as principais fontes energéticas do mundo há décadas, havendo mais de 100 países produtores (ENERGY INSTITUTE, 2020). Tais commodities permitiram avanços na qualidade de vida e em todos os setores da economia, desde a iluminação residencial, cozimento e aquecimento até transporte e fabricação industrial. Essa indústria, denominada como Indústria Óleo e Gás (O&G), é geralmente dividida em três principais setores operacionais: *Upstream*, *Midstream* e *Downstream*. O setor *Upstream* incorpora a exploração de reservas e a produção de petróleo e gás natural, o *Midstream* se concentra no transporte e armazenamento dos produtos extraídos, enquanto o *Downstream* refina, distribui e os vende ao cliente final.

As empresas de O&G enfrentam grandes desafios técnicos e de negócios devido à alta complexidade de gerenciar diversos riscos operacionais, ambientais e geopolíticos a todo momento. Sob o aspecto ambiental, a poluição está associada a praticamente todas as atividades dessa indústria, da exploração à queima dos produtos petrolíferos, chegando à emissão de mais de 800 produtos químicos diferentes (MARIANO *et al*, 2017). Sendo assim, essa indústria é vista como grande contribuinte para o aquecimento global, chuvas ácidas e problemas de saúde como doenças respiratórias e cardíacas (ENVIRONMENT AND ECOLOGY, 2020). Como consequência, as petrolíferas vêm sofrendo crescente pressão, sendo previsto que as fontes de energia renovável se tornem a maior fonte global de geração energética até 2040 (BP ENERGY OUTLOOK, 2019).

Nesse cenário de incertezas, essa indústria necessita, mais do que nunca, se manter competitiva para sobreviver no mercado, de forma a explorar os seus ativos e produzir de uma forma mais inteligente e avançada, buscando reduzir os riscos citados anteriormente. Como consequência, as petrolíferas vêm adotando tecnologias digitais, que segundo o Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP), contribuem para um ganho de produtividade e flexibilidade, assim como para o aumento da eficiência de processos e da segurança das operações, com consequente redução de custos (THINK ENERGY, 2019).

As tecnologias digitais se inserem na chamada Indústria 4.0, que tem como princípio a implementação de sistemas integrados e inteligentes capazes de processar e analisar quantidades de dados muito além da capacidade humana para a tomada de decisões importantes (FORBES, 2018a). Nessa transformação digital, ferramentas como a computação de alta performance, gêmeos digitais, realidade virtual ou aumentada, robótica, *big data*, drones, inteligência artificial, internet das coisas e outras vêm sendo aplicadas com intensidade cada vez maior na Indústria de O&G para aumentar a competitividade em tempos desafiadores de transição energética (THINK ENERGY, 2019). Segundo a executiva da Siemens Laura Coates (2020), a transformação digital de empresas industriais requer uma abordagem holística, precisando assim agir dentro de um ecossistema de clientes, fornecedores, desenvolvedores, integradores e outros parceiros em um processo colaborativo (AUTOMATION WORLD, 2020).

No que se refere à O&G, o setor de Exploração e Produção (E&P) de petróleo apresenta um contexto interessante para a adoção de tecnologias digitais, visto que são geradas enormes quantidades de dados sobre poços de petróleo. Como exemplo dessa dimensão, somente a Chevron possui milhares de poços em todo o mundo e cada um deles é coberto com sensores que geram mais de mil *gigabytes* de dados por dia (LOGIC MAG, 2019). Tamanha quantidade precisa ser analisada no intuito de obter informações estratégicas na tomada de decisão, porém, isso não seria possível sem a Inteligência Artificial (IA). Essa tecnologia da Indústria 4.0 é definida como algoritmos capazes de analisar grandes quantidades de dados e encontrar tendências, que revelam *insights* extremamente difíceis para um ser humano encontrar (IBM, 2019a). Sendo assim, com a IA as empresas de petróleo podem entender melhor todos os dados que coletam para descobrir padrões que ajudam a tornar suas operações mais eficientes e menos dispendiosas, o que também vai de encontro ao estabelecimento de novos parceiros digitais que integrarão o ecossistema dessa indústria para ajuda-los a armazenar e gerir melhor tais dados.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal analisar a adoção da inteligência artificial nas atividades de E&P, tendo como o primeiro objetivo específico analisar o ecossistema das três categorias de atores mais importantes para o referido setor aplicar as tecnologias de IA: as operadoras de E&P, as prestadoras de serviço em E&P e em IA. Sendo assim, nesse primeiro objetivo será avaliado o papel das parcerias envolvidas no desenvolvimento dessas soluções ou iniciativas, de modo a avaliar a interconexão da IA com as demais tecnologias digitais

e discutir as diferentes estratégias adotadas nessas soluções. Já o segundo objetivo específico visa identificar e discutir as soluções de IA que atendem os principais desafios técnicos e de negócios desse setor, avaliando-se o grau de atendimento, os tipos de tecnologia adotados e o nível de progresso de cada solução. Com isso, tanto no primeiro e no segundo objetivo específico, serão identificadas as soluções de IA e quem são os atores e parceiros por trás delas.

A estrutura deste trabalho é dividida em seis capítulos, além dessa introdução. O capítulo dois discute as características estruturais da indústria de O&G, de forma a compreender a cadeia de valor dos setores, focando principalmente no entendimento das etapas operacionais do setor de E&P e o ecossistema envolvido. Já no capítulo três serão estudadas as tecnologias digitais no contexto da E&P, abordando principalmente a inteligência artificial, seus subdomínios e associações com as demais tecnologias, além dos desafios de implementação e a forma como esta se integra ao ecossistema do setor *Upstream*. No capítulo quatro, será apresentada a metodologia aplicada no estudo dos dois objetivos principais anteriormente pautados: o ecossistema da IA para o setor de E&P e os desafios técnicos e de negócios com as respectivas soluções de IA encontradas. Em seguida, no capítulo cinco serão apresentados os principais desafios técnicos e de negócios enfrentados pelo setor *Upstream* de acordo com a metodologia apresentada anteriormente. No capítulo seis, serão analisados os resultados da pesquisa relativa aos ecossistemas e em relação às soluções da IA adotadas para os desafios, de forma a realizar uma análise comparativa entre as empresas envolvidas e discutir sobre as diferentes estratégias aplicadas. Por fim, o capítulo sete apresenta as conclusões do presente trabalho, suas limitações e sugestões de trabalhos futuros.

II A Indústria de O&G

A Indústria de Óleo e Gás é responsável por explorar, produzir, refinar, transportar e distribuir o petróleo bruto e gás natural. Essas commodities possuem um papel fundamental para a fabricação de insumos tão presentes no cotidiano. As frações do petróleo são destinadas a diversos usos, desde combustíveis até matérias-primas necessárias para a Indústria Química fabricar camisetas de nylon à fertilizantes nitrogenados (PETROBRAS, 2014).

Neste capítulo, serão abordados os principais aspectos dos segmentos dessa indústria, enfatizando especialmente o início de toda a cadeia: a Exploração e Produção. Nessa abordagem, serão apresentados os tipos de operadoras e como estas se relacionam com as prestadoras de serviço que atuam diretamente nesses campos petrolíferos.

II.1 A cadeia de valor da Indústria O&G

A cadeia de valor da Indústria O&G começa com a exploração do petróleo bruto e gás natural (*Upstream*), que precisam ser transportados seguramente (*Midstream*) para as refinarias que processam e vendem os produtos aos consumidores (*Downstream*), como os combustíveis necessários para transporte e aquecimento, bem como as principais matérias-primas usadas na construção, pavimentação e fabricação de milhares de produtos químicos (INKPEN *et al*, 2011).

No *Upstream*, conhecido como o setor de Exploração e Produção (E&P), são encontrados e produzidos petróleo e gás natural. Esse setor atua de forma análoga à mineração, ou seja, as empresas investem inicialmente na obtenção e desenvolvimento de reservas das quais esperam retornos financeiros satisfatórios, visto que são exigidos altos níveis de investimento em capital (CAPEX). Portanto, as operadoras de E&P investem em muitas tecnologias e infraestrutura para manter ou aumentar as reservas a fim de compensar o esgotamento natural (COMPTROLLER, 2016).

O caminho logístico entre os produtos crus e as suas unidades de processamento é definido pelo setor de *Midstream*. Essas empresas reúnem, processam, armazenam e transportam tanto o petróleo bruto e gás natural das produtoras, quanto os produtos petrolíferos refinados no fim da cadeia de valor. Esse longo transporte geralmente é realizado através de oleodutos com o auxílio

de infraestruturas como estações de bombeamento e caminhões tanque (EKT INTERACTIVE, 2020). O *Midstream* funciona de modo semelhante a uma estrada de pedágio que cobra taxas para o movimento ou processamento intermediário de empresas de O&G. As empresas desse ramo exigem grandes investimentos iniciais em infraestrutura de longa duração e, em seguida, geram margens de lucro a partir da cobrança de taxas por seus serviços (COMPTROLLER, 2016).

O último setor da Indústria de O&G, conhecido como *Downstream*, inclui a transformação do petróleo bruto e gás natural em diversos produtos refinados, com características que variam de acordo com o tamanho da cadeia hidrocarbônica. As refinarias geram, por meio de processos físicos e químicos, os hidrocarbonetos leves, como a gasolina utilizada como combustível de automóveis, e pesados, como o asfalto para construção de rodovias (ENERGY HQ, 2017), dentre outros. O modelo de negócios se baseia no lucro gerado pelo refino de matérias-primas, transformando-as em produtos de maior valor agregado, operando também a comercialização aos clientes atacadistas e usuários finais (COMPTROLLER, 2016).

Como ilustrado na figura II.1 a seguir, a cadeia de valor de O&G está totalmente integrada. Em *Upstream*, após a concessão do acesso legal às reservas, por órgãos regulamentadores, o local é explorado e desenvolvido para a produção do petróleo bruto e do gás natural. O primeiro produto é comercializado e transportado, por empresas *Midstream*, para as refinarias e o segundo para a Unidade Processadora de Gás Natural (UPGN). Por fim, no setor *Downstream*, essas commodities brutas são transformadas através do refino em produtos como gasolina, diesel, óleo de aquecimento, propano, asfalto e insumos petroquímicos, que por sua vez gerarão outros produtos de maior valor agregado.

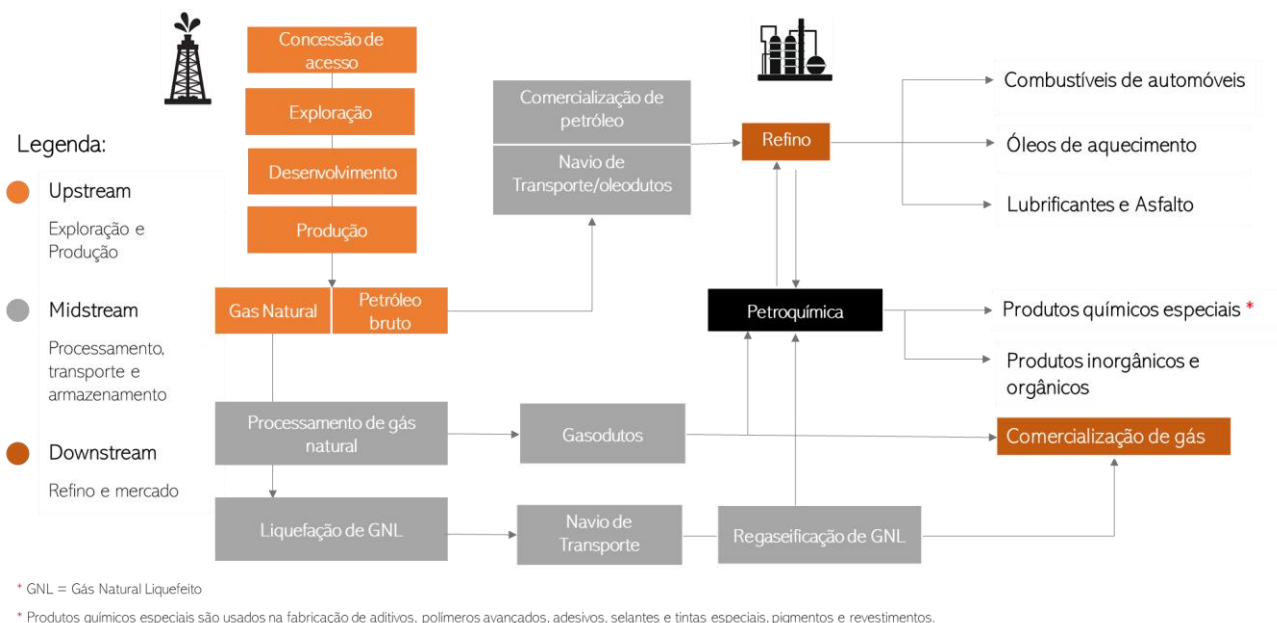


Figura II.1: Cadeia de valor em O&G (Adaptado: INKPEN et al, 2011).

II.2 Exploração e produção de petróleo

As atividades de exploração e produção da indústria de petróleo podem ser desenvolvidas tanto em terra (*onshore*), como em alto mar (*offshore*). Em ambos os casos, existem seis principais etapas que formam o ciclo de vida do campo de E&P, iniciando-se pela licença concedida para explorar determinada área até o abandono das atividades nos poços. A figura II.2 mostra a relação econômica temporal de cada uma dessas etapas: Concessão de acesso, Exploração, Avaliação, Desenvolvimento, Produção e Descomissionamento (JAHN *et al*, 2008). Pelo gráfico, percebe-se que somente a partir dos primeiros quatro anos da etapa de produção as petrolíferas conseguem obter um retorno financeiro suficiente para cobrir os seus investimentos. Além disso, na curva amarela é mostrado o perfil da taxa de produção que será detalhado no item II.2.5 deste capítulo. E caso as primeiras quatro etapas não sejam bem-sucedidas, a empresa teria um prejuízo significativo para aquele alvo apostado, voltando assim a etapa 1 em uma outra localidade. Isso mostra que cada estágio do setor *Upstream* deve ser criteriosamente bem executado, o que justifica o alto investimento dessas empresas em mão de obra qualificada e tecnologias avançadas. A seguir, serão detalhados cada um desses estágios, do ponto de vista técnico e econômico.



Figura II.2: O ciclo de vida do campo petrolífero e o típico fluxo de caixa cumulativo (Adaptado: JAHN et al, 2008).

II.2.1 Concessão de acesso

Para que uma empresa petrolífera solicite o acesso legal à área de exploração de petróleo e gás, um passo anterior deve ser dado: a identificação de quais regiões do mundo são de seu interesse. Isso envolverá a avaliação dos seguintes aspectos das regiões em estudo: técnicos, como tamanho potencial dos hidrocarbonetos; políticos e econômicos, tais como estabilidade governamental e fiscal e custos locais; sociais, tais como ameaça de desordem civil e a disponibilidade de mão-de-obra local qualificada; e ambientais, sendo verificados as regulações locais para as devidas medidas de proteção ao meio ambiente (JAHN *et al*, 2008).

Após a identificação da área almejada, as empresas dão início à etapa de concessão do direito de explorar e desenvolver a subsuperfície alvo, que é tipicamente propriedade do Estado. Sendo assim, a aquisição de novas propriedades de petróleo e gás é tanto sobre ciência e geologia quanto sobre geopolítica, tomada de risco, gestão de parcerias, negociação e leilão de licitações. Sem esse acesso concedido, não haveria campos de petróleo e gás para serem descobertos e nenhum projeto a ser desenvolvido. Esse acesso é dado por meio de um acordo contratual chamado regime fiscal. Nesses acordos são especificados o tempo, o grau de comprometimento, estrutura, precificação, tributação e possivelmente redistribuição de recursos econômicos associados a todos os estágios da cadeia de valor de petróleo e gás (INKPEN *et al*, 2011).

II.2.2 Exploração

Por mais de um século, os geólogos procuram petróleo e durante este período, grandes descobertas foram feitas em muitas partes do mundo. No entanto, é cada vez mais provável que a maioria dos campos “gigantes” já tenha sido identificada e que as descobertas futuras provavelmente sejam campos menores e mais complexos. Para reverter esse cenário, o desenvolvimento de novas técnicas de exploração tem melhorado a compreensão dos geólogos e aumentado a eficiência da descoberta de hidrocarbonetos. Portanto, embora os alvos estejam ficando menores, os poços agora podem ser localizados com mais precisão e com maior chance de sucesso (JAHN *et al*, 2008).

As atividades de exploração visam encontrar novos volumes de hidrocarbonetos, e o sucesso desses esforços determinam as perspectivas da empresa de permanecer nos negócios a longo prazo. Tradicionalmente, os investimentos em exploração são feitos muitos anos antes de haver qualquer oportunidade de produzir o petróleo. Isso é mostrado na figura II.3, onde estipula-se em média 4 anos para que a quarta e última fase da Exploração se inicie. Em tais situações, as empresas devem ter pelo menos um cenário em que as recompensas potenciais de uma eventual produção justifiquem o investimento em exploração. É comum uma empresa trabalhar por vários anos em uma área potencial antes que um poço de exploração seja perfurado. Durante este período, a história geológica da área será estudada e a probabilidade de presença de hidrocarbonetos quantificada (JAHN *et al*, 2008).

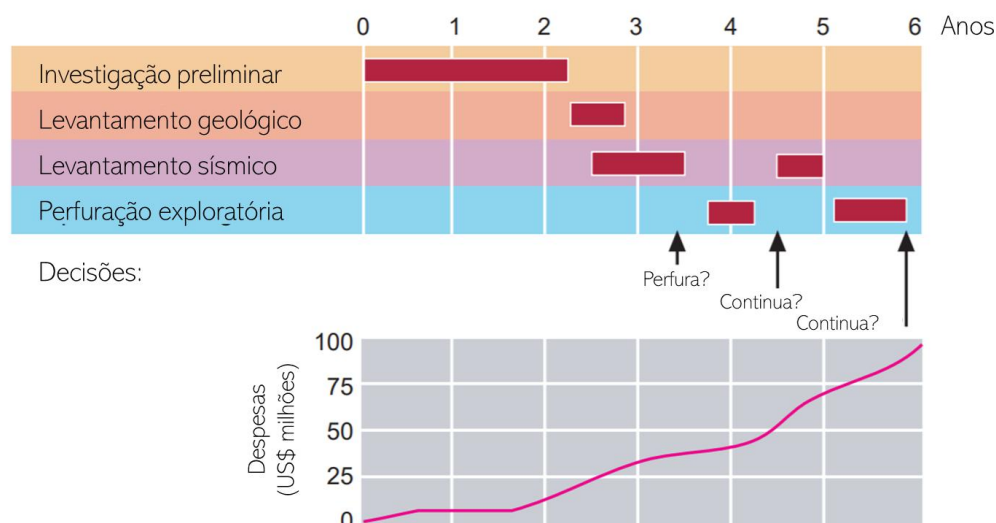


Figura II.3: Fases e despesa de um programa típico de exploração (Adaptado: JAHN et al, 2008).

Como mostrado na figura II.3, a Exploração pode ser dividida em quatro principais etapas: a Investigação preliminar, o Levantamento geológico, o Levantamento sísmico e a Perfuração exploratória. A primeira etapa consiste no trabalho de prospecção de petróleo em estágio inicial e normalmente envolve revisões de literatura e dados. Após a realização de estudos de campo, como amostragem de rochas e solos, os resultados são coletados e modelos computacionais são criados para visualizar como a área mudou ao longo do tempo (NZ PETROLEUM & MINERALS, 2017a).

Uma vez identificadas as áreas mais promissoras, é realizada a fase de levantamento geológico para verificar potenciais rochas que formam e acumulam petróleo (ENI, 2005). Essa etapa ocorre através da coleta e análise de dados geológicos, tanto abaixo quanto na superfície de regiões próximas à zona exploração, por meio de técnicas como amostragem de fundo, extração superficial e testes profundos de estratigrafia¹ (BOEM, 2020).

Após o mapeamento superficial das possíveis formações rochosas ricas em petróleo, o levantamento sísmico é realizado para se definir e identificar as estruturas, camadas e profundidade dessas rochas abaixo da superfície terrestre (BOEM, 2020). Esse é um método geofísico que forma

¹ Estratigrafia: o estudo da história, composição, idades relativas e distribuição de camadas de rocha, ou estratos, ao longo do tempo. A comparação, ou correlação, de estratos separados pode incluir o estudo da litologia, fornecendo a natureza macroscópica do conteúdo mineral, tamanho do grão, textura e cor das rochas (SCHLUMBERGER, 2020a).

imagens 2D, 3D ou até 4D da subsuperfície a partir do registro de ondas refletidas e refratadas na superfície, seja por caminhões de vibração sísmica utilizados em terra (Figura II.4), como por navios em alto mar (Figura II.5) (SEISMIC SURVEY, 2020).

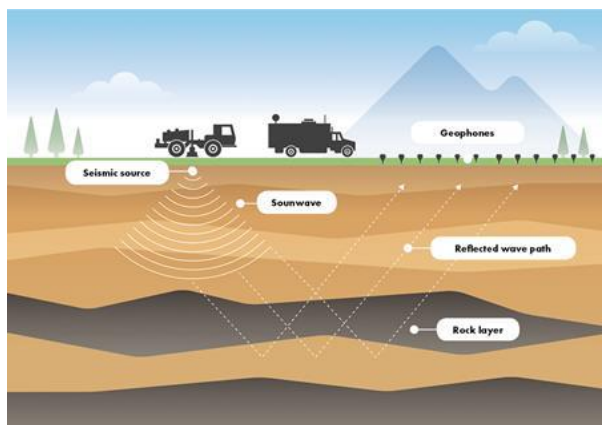


Figura II.4: Levantamento sísmico onshore (ENERGY INFORMATION AUSTRALIA, 2020).

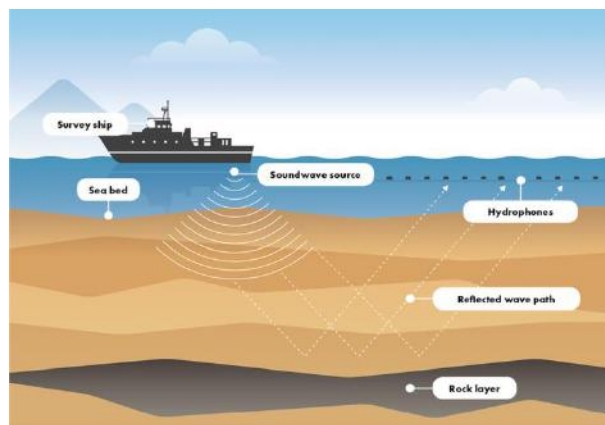


Figure II.5: Levantamento sísmico offshore (ENERGY INFORMATION AUSTRALIA, 2020).

Caso as análises dos dados geológicos e geofísicos indiquem um local com alta probabilidade de conter hidrocarbonetos, as empresas podem enfim decidir perfurar um poço de exploração. Nessa fase, denominada perfuração exploratória, o objetivo é avaliar os riscos operacionais de modo a testar de forma conclusiva a presença de um campo de petróleo e gás. É o ponto em que todos os riscos ambientais, geológicos e financeiros convergem. Embora o resultado desejado de um poço de exploração seja a descoberta de petróleo, a maior parte, cerca de 90%, dos poços perfurados não atingem esse feito. E desses 10% que conseguem, apenas 1 a cada 10 resultam em um campo de produção. Isso mostra que mesmo com essas técnicas modernas, há apenas 20% ou 25% de chance, em média, de encontrar um depósito comercial de petróleo ou gás, gerando um custo por poço perfurado entre US\$ 5 milhões (*onshore*) e US\$ 100 milhões (*offshore*) (INKPEN *et al*, 2011; NZ PETROLEUM & MINERALS, 2017b).

II.2.3 Avaliação

Uma vez que as operações com o poço de exploração tenham sido bem-sucedidas ao encontrar um acúmulo de petróleo, ainda será necessário um esforço considerável para avaliar com precisão o potencial do local. Nesse caso, ocorrerá a etapa de Avaliação, que tem o propósito de entender o tamanho e a viabilidade comercial do recurso explorado.

As operações de avaliação envolvem análises técnicas do poço de exploração, com o objetivo de mapear ainda mais a estrutura do alvo ou identificar alvos adicionais na área. Para quase todas as descobertas *offshore*, serão necessárias operações adicionais de perfuração de poços, denominados poços de avaliação. Esses poços serão utilizados para realizar um teste de produção, que ajuda a confirmar o tamanho do reservatório e determinar a taxa na qual o petróleo flui do poço. Uma análise mais aprofundada dos resultados do poço, juntamente com a consideração da demanda do mercado e o possível preço de venda de petróleo e gás, determinará se essa descoberta é economicamente viável ou não (NZ PETROLEUM & MINERALS, 2017b).

Esse estudo de viabilidade ocorre para examinar as várias opções para desenvolver o campo. O estudo conterá as opções de desenvolvimento do subsolo, o design do processo, o tamanho dos equipamentos, os locais propostos (por exemplo, plataformas *offshore*) e o sistema bruto de evacuação e exportação. Os casos considerados serão acompanhados de uma estimativa de custo e cronograma de planejamento. Esse documento fornece uma visão geral completa de todos os requisitos, oportunidades, riscos e restrições (JAHN *et al*, 2008).

Essas e outras informações técnicas permitirão estimar a vida útil de produção esperada do campo. Sendo assim, a etapa de avaliação resultará na estimativa da dimensão dos recursos de petróleo e gás presentes, na composição química específica e no quanto desses recursos podem se tornar reservas, ou seja, que podem ser extraídos de forma viável economicamente e tecnicamente (NZ PETROLEUM & MINERALS, 2017c).

II.2.4 Desenvolvimento

Com base nos resultados do estudo de viabilidade e assumindo que pelo menos uma opção é economicamente viável, um Plano de Desenvolvimento de Campo (PDC) pode agora ser formulado e executado. Esse plano visa explorar a descoberta, incluindo o número e tipo de poços propostos, as instalações necessárias e seu design e os meios de retirada de hidrocarbonetos (WOOD, 2019).

O PDC deve incluir os seguintes tópicos: Objetivos do desenvolvimento; Dados de engenharia de petróleo; Princípios de operação e manutenção; Descrição das instalações de engenharia; Estimativas de custo e mão de obra; Planejamento do projeto; Resumo da economia do projeto e a Proposta de Orçamento. Depois que o PDC é aprovado, segue uma sequência de atividades antes da primeira produção do campo, como um projeto mais detalhado das instalações, compra dos materiais de construção, fabricação e implantação das instalações, e o comissionamento² de toda a planta e equipamentos (JAHN *et al*, 2008). A figura II.6 mostra o esquema das instalações de uma plataforma de produção de petróleo e gás.

² Comissionamento: Conjunto de procedimentos técnicos e administrativos que objetiva a garantia de que equipamentos e serviços de construção e montagem de determinado sistema ou unidade industrial estejam em consonância com as condições projetadas (DICIONÁRIO DO PETRÓLEO, 2020).

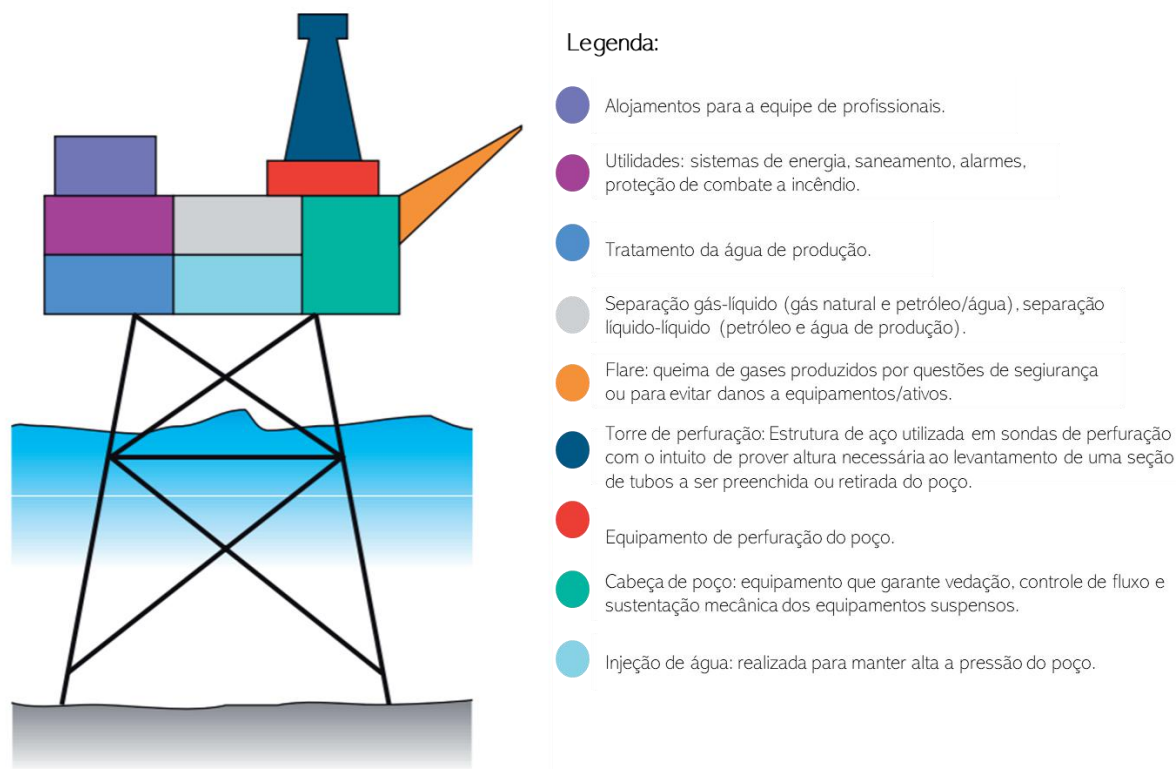


Figura II.5: Esquema das instalações contidas em uma plataforma de petróleo (Adaptado: JAHN et al, 2008).

Dependendo da localização, tamanho, complexidade e o número de poços necessários, essa fase de desenvolvimento pode continuar por um longo período antes que a produção possa começar, normalmente de 5 a 10 anos. Os desenvolvimentos *onshore* são comparativamente muito mais baratos que os desenvolvimentos *offshore* (REPORTING OIL AND GAS, 2020). Este é o ponto em que o maior investimento de capital é requerido, visto que os valores de tais desenvolvimentos podem chegar a bilhões de dólares (NZ PETROLEUM & MINERALS, 2017c).

II.2.5 Produção

Com toda a infraestrutura já instalada na etapa de Desenvolvimento, o campo passa a produzir petróleo e/ou gás em quantidades comerciais para abastecer o mercado. Esta etapa é a mais longa de todo o ciclo de vida de um campo de petróleo, podendo se estender por décadas a depender da capacidade produtiva do campo (ANP, 2020). Essa fase marca o ponto de virada no que se refere ao fluxo de caixa, uma vez que a partir de então o dinheiro é gerado e pode ser usado

para pagar os investimentos anteriores ou ser disponibilizado para novos projetos. Minimizar o tempo entre o início da exploração e o “primeiro petróleo” é um dos objetivos mais importantes em qualquer novo empreendimento petrolífero (JAHN *et al*, 2008).

O perfil de produção determinará as instalações necessárias e o número dos poços a serem perfurados. Esse perfil idealizado, mostrado na curva amarela da figura II.2 e mais detalhadamente na figura II.7, caracteriza-se por três fases: 1) Período de crescimento, quando os poços produtores recém perfurados são progressivamente colocados em operação; 2) Período de platô, quando as instalações de produção estão funcionando com capacidade total a uma taxa de produção constante, durando tipicamente de 2 a 5 anos para um campo de petróleo, mas mais longo para um campo de gás e; 3) Período de declínio, onde todos os poços produtores exibirão uma produção em declínio, sendo geralmente o período mais longo dentre os demais (JAHN *et al*, 2008).

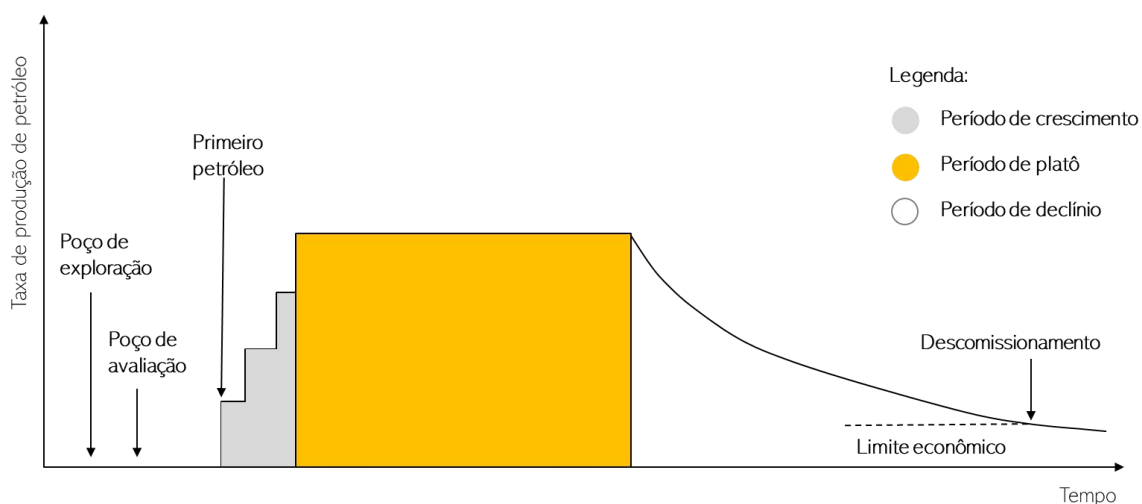


Figura II.6: Perfil idealizado de produção de petróleo (Adaptado: HOOK *et al*, 2014).

No entanto, desvios significativos deste perfil de produção podem ser causados pelo histórico de desenvolvimento, mudanças na tecnologia ou no preço do petróleo, acidentes, decisões políticas, sabotagem e fatores semelhantes. Alguns campos têm períodos curtos de platô, mais parecidos com um único pico, enquanto outros, especialmente campos grandes, podem manter a produção relativamente constante por muitas décadas. Mas, em algum momento, todos os campos chegarão na fase de declínio e começarão a experimentar uma diminuição na produção (HOOK *et al*, 2014).

Com o objetivo de estender a produção de petróleo e gás, muitas empresas utilizam diversas técnicas para extrair mais hidrocarbonetos, além do escoamento livre inicial causado pela pressão subterrânea, chamado de recuperação primária. Assim, a recuperação secundária ocorre quando o petróleo e gás não conseguem atingir a superfície por si só, e é aplicada uma forma adicional para manter a pressão elevada, como injeções de gás, vapor ou água. Já as técnicas terciárias, também chamadas de recuperações avançadas de petróleo ou *Enhanced Oil Recovery* (EOR), tentam alterar as condições químicas dos hidrocarbonetos para permitir maior movimento e fluidez no poço, através de recuperações térmica, microbiológica, química ou gasosa (INKPEN *et al*, 2011). Outros métodos de estimulação da produção podem ser usados para aumentar e ampliar os canais de escoamento, tais como fraturamento hidráulico³ em recursos não convencionais⁴, tratamento ácido usado particularmente para rochas carbonáticas e técnicas de bombeamento artificial, tais como bombas centrífugas submersas usadas em reservas de petróleo pesado, de alta viscosidade (GIPIP, 2016; GLOSSARY SLB, 2020).

Infelizmente mesmo após a aplicação de técnicas de recuperação aprimoradas, uma média de 50% do petróleo ainda permanece presa nos capilares rochosos. Essa porcentagem varia de acordo com as características de cada reservatório (INKPEN *et al*, 2011). Além disso, o investimento também aumenta à medida que as técnicas de recuperação evoluem, de modo que o custo por barril da maioria dos métodos EOR é consideravelmente maior do que o custo das técnicas convencionais de recuperação, de modo que a aplicação de EOR se torna geralmente muito mais sensível ao preço do petróleo (JAHN *et al*, 2008). Como exemplo desse alto investimento, em 2010, a operadora ExxonMobil afirmou que seu projeto aprimorado de recuperação de petróleo no campo da Malásia teria um investimento bruto estimado em mais de US\$ 1 bilhão (INKPEN *et al*, 2011).

³ O fraturamento hidráulico é a injeção de fluidos em uma formação a alta pressão, criando fraturas. É usado como um método de estimulação para aumentar a taxa de produção em formações apertadas, típicas de recursos não convencionais. Vários estágios de fraturamento são usados para criar múltiplas fraturas paralelas em poços horizontais (GIPIP, 2016).

⁴ Recursos não convencionais referem-se a petróleo e gás natural que devem ser extraídos usando técnicas diferentes daquelas para extrair hidrocarbonetos convencionais. Esses recursos consistem em fontes líquidas, incluindo petróleo de xisto, areias betuminosas e petróleo extrapesado, enquanto o gás não convencional normalmente inclui gás de xisto, gás estanque, hidratos de gás e metano. São necessárias técnicas especializadas para recuperar recursos não convencionais, porque geralmente ficam presos em reservatórios com permeabilidade muito baixa, onde o petróleo ou o gás natural têm pouca ou nenhuma capacidade de fluir através da rocha e penetrar no poço. A indústria do petróleo utiliza a perfuração horizontal e fraturamento hidráulico para extrair petróleo ou gás natural de reservatórios não convencionais de baixa permeabilidade (GIPIP, 2016).

II.2.6 Descomissionamento

Eventualmente, todo desenvolvimento de campo chegará ao fim de sua vida econômica, ou seja, quando a receita não cobrir mais os custos operacionais. Se as opções para prolongar a vida útil do campo tiverem sido esgotadas, então o descomissionamento será necessário. Esse é o processo pelo qual o operador de uma instalação de petróleo ou gás natural planejará, obterá aprovação e implementará a remoção, eliminação ou reutilização de uma instalação quando não for mais necessária para sua finalidade atual (JAHN *et al*, 2008).

O descomissionamento é muitas vezes uma operação complexa e arriscada devido as preocupações ambientais e pela variedade de regulamentos governamentais por trás desse processo. As cinco principais considerações são o potencial impacto no meio ambiente, o potencial impacto na saúde e segurança humana, a viabilidade técnica, os custos e a aceitabilidade do público. Sendo assim, o objetivo básico de um programa de descomissionamento é tornar todos os poços permanentemente seguros e remover a maioria, se não todos, dos sinais de atividades de produção da superfície ou do fundo do mar. O custo dessa operação pode ser muito significativo, tipicamente 10% do CAPEX acumulado para o campo (JAHN *et al*, 2008).

II.2.7 As operadoras em E&P

A indústria global de petróleo e gás é composta por muitas empresas de diferentes estruturas, portes e capacidades. Dentre as principais categorias de operadoras, há aquelas que se dividem pelo nível de privatização, como as Empresas Petrolíferas Nacionais (*National Oil Company* - NOC) e internacionais (*International Oil Company* - IOC), e aquelas que se distinguem pelo grau de atuação na cadeia de valor, como as independentes e as integradas.

As NOCs são aquelas controladas por um governo nacional, geralmente formadas para gerenciar os recursos de hidrocarbonetos do país. Muitas NOCs, são de propriedade majoritária do Estado e parcialmente de investidores privados, operando além das suas fronteiras, como no caso da Gazprom Neft, Petrobras, Sinopec e Statoil. Já algumas delas operam apenas em seu país de origem, como por exemplo a mexicana Pemex. As NOCs controlam cerca de 90% do petróleo e gás do mundo, e a maioria das novas reservas de petróleo deve ser encontrada em seus territórios (INKPEN *et al*, 2011).

As IOCs são empresas de petróleo e gás que competem globalmente e geralmente operam em parceria com as NOCs no país de origem. As IOCs incluem as maiores empresas de petróleo e gás em termos de faturamento, como a BP, ExxonMobil e Shell, e são controladas por investidores privados, tendo como foco a maior rentabilidade sustentável ao longo do tempo. Essa categoria opera em diversos segmentos da indústria, atuando em todas as atividades da sua cadeia de valor, desde a exploração das commodities ao marketing dos produtos refinados (INKPEN *et al*, 2011).

Assim como as IOCs, as empresas independentes não pertencem ao governo, mas possuem a diferença de se concentrar ou no *Upstream* ou no *Downstream*. Desse modo, essas empresas geram quase toda a sua receita da exploração e produção, como a Occidental, Apache, Devon, OGX e Woodside, ou do refino e comercialização, como a Reliance, Formosa Petro e Indian Oil, que representam um mercado inferior em termos de faturamento em relação às independentes *Upstream*. Já as petrolíferas integradas são as empresas que atuam em todo o ciclo de valor da cadeia: *Upstream*, *Midstream* e *Downstream*, tendo como referência grandes petrolíferas, como a BP e a Shell, e também as de menor porte como a Eni e Marathon (INKPEN *et al*, 2011).

II.2.8 As prestadoras de serviço em E&P

A multiplicidade de tarefas, atividades, processos e tecnologias necessárias para a execução da exploração, perfuração, desenvolvimento e produção é significativa. Essas empresas fornecem os muitos serviços e equipamentos necessários para um campo petrolífero. Sendo assim, para a empresa de E&P, a execução bem-sucedida de um projeto requer o trabalho de muitos contratados e a construção de uma cadeia de suprimentos confiável (INKPEN *et al*, 2011).

As prestadoras de serviço desempenham um papel crítico em todas as fases da E&P, pois fornecem produtos e serviços avançados para encontrar, perfurar, avaliar, desenvolver, produzir e gerenciar reservatórios petrolíferos. Como as empresas de serviços do campo de petróleo não buscam direitos de propriedade para reservas, seu papel pode se tornar importante como parceiros das NOCs. Schlumberger, Halliburton, Weatherford e Baker Hughes são exemplos das principais empresas de serviços de campos petrolíferos (INKPEN *et al*, 2011).

III A Transformação Digital e o seu papel na E&P

Apesar das margens de lucro reduzidas, a maioria das empresas *Upstream* possui orçamentos suficientes para investir em uma estratégia robusta da Indústria 4.0, da exploração à produção. Essa estratégia deve incluir soluções que melhorem o design e a avaliação do projeto, possibilitem operações de perfuração não tripuladas, aumentem a confiabilidade do ecossistema e prevejam as necessidades de manutenção. Tais capacidades não só ajudarão a aumentar a eficiência, mas também apoiarão o crescimento lucrativo (INFOSYS, 2018). Dentre as tecnologias digitais existentes, a inteligência artificial é uma das que se destacam pela capacidade de analisar grandes quantidades de dados e encontrar tendências para tomada de decisão em tempo real.

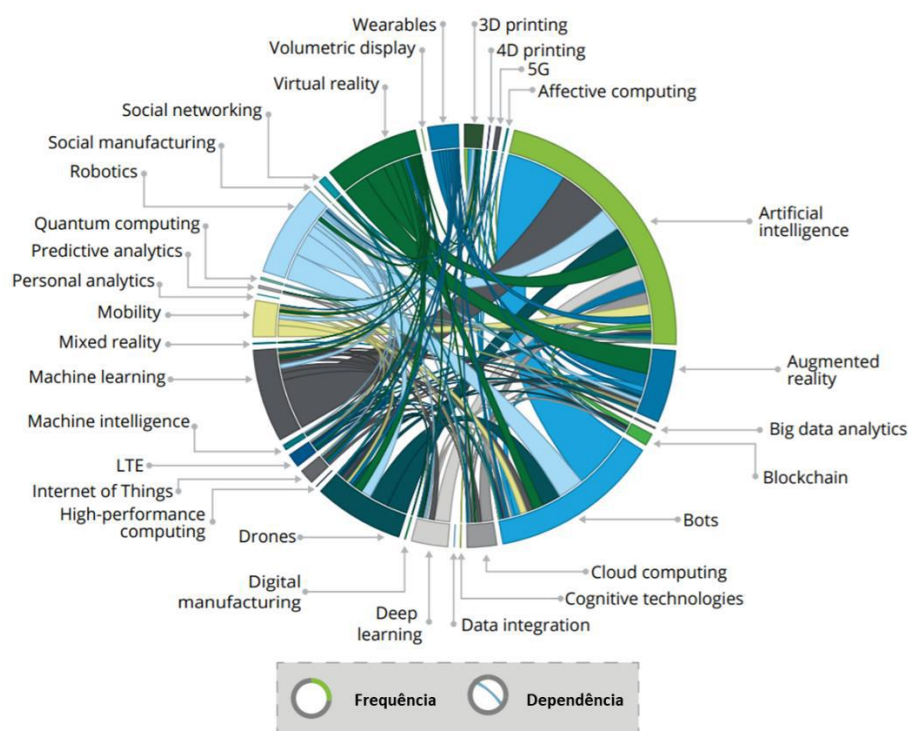
Neste capítulo, serão exploradas as aplicações da IA, bem como a sua associação a outras tecnologias digitais, no contexto de E&P. Além disso, no ponto de vista de negócios, se entenderá quais são os obstáculos mais comuns para a implementação dessa tecnologia no setor e como os principais atores por trás dela se relacionam com o ecossistema de E&P.

III.1 A Era digital e suas tecnologias no contexto de E&P

O termo digitalização e Indústria 4.0 muitas vezes podem ser confundidos como sinônimos, mas existem diferenças. O primeiro se refere a transformação digital de maneira mais ampla, em qualquer cadeia de valor; já o segundo termo se refere a chamada quarta revolução industrial que usa a digitalização para melhorar a produção na manufatura industrial (INFOSYS, 2018). Essa nova Era pode trazer mudanças significativas no ecossistema de um setor, interrompendo as cadeias de valor tradicionais e redefinindo papéis: novos modelos de negócios capacitam algumas empresas e tornam outras obsoletas (BCG, 2017). O potencial disruptivo resultante da implantação conjunta das tecnologias digitais como Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*), robótica, inteligência artificial e outras é projetado em mais de US \$ 300 trilhões na próxima década, sendo entre US\$ 1,6 e US\$ 2,5 trilhões para a indústria de petróleo e gás (INFOSYS, 2018; WORLD ECONOMIC FORUM, 2017). Com isso em mente, o setor *Upstream* pode se beneficiar da Era digital tanto para tornar mais inteligente e eficiente os seus setores administrativos, quanto as atividades fins nas plataformas de exploração e produção.

A E&P de petróleo se tornará cada vez mais cara e tecnologicamente sofisticada à medida que as empresas petrolíferas se movam para águas mais profundas, condições mais frias, países menos desenvolvidos e áreas geopoliticamente mais sensíveis (INKPEN *et al*, 2011). Esse aumento de custos alinhado ao declínio dos preços de petróleo desde 2014 faz com que as o setor de *Upstream* busque a Era digital como um caminho tanto para a otimização na produção quanto para a redução dos riscos econômicos, ambientais, de saúde e segurança (BCG, 2017; MEDIUM, 2018). A Agência Internacional de Energia (IEA – *International Energy Agency*) destaca que o uso generalizado de tecnologias digitais poderia diminuir os custos de produção entre 10% e 20%, através do processamento avançado de dados sísmicos, do uso de sensores e da modelagem aprimorada do reservatório. Além disso, os recursos tecnicamente recuperáveis de petróleo e gás poderiam ser impulsionados em cerca de 5% globalmente, com os maiores ganhos esperados em gás de xisto (IEA, 2017).

Uma rede com diversas tecnologias interconectadas, que muitas vezes apresentam a mesma nomenclatura, pode dificultar um entendimento claro de como implementar a transformação digital, principalmente em um setor tão complexo como o petrolífero. Para evidenciar esse ecossistema de tecnologias, a consultora Deloitte (2020a) analisou 5.000 artigos das cinco principais revistas de tecnologia entre os anos 2016 e 2017, concluindo que muitas tecnologias são quase indistinguíveis em termos de seus benefícios e altamente dependentes umas das outras, destacando-se a inteligência artificial como a mais citada e interconectada, como mostra a figura III.1. Alinhado a isso, uma pesquisa divulgada pela Accenture (2020a) com 255 profissionais do setor *Upstream* revelou que a IA é a tecnologia digital que terá maior investimento nos próximos 3-5 anos nesse setor, contando a partir do ano de 2019, sendo a segurança cibernética a tecnologia mais investida atualmente, o que se alinha ao fato de que os dados antes de serem analisados, precisam ser protegidos.



"Frequência" indica o número agregado de artigos nos quais uma tecnologia específica apareceu com outra tecnologia.
 "Dependência" refere-se ao número de vezes que um par específico de tecnologia é citado em conjunto.

Figura III.1: A frequência e interdependência entre as tecnologias digitais (DELOITTE, 2017a).

Portanto, existe uma tecnologia chave que possui não somente a maior perspectiva de investimento futuro pelo setor de E&P, como a maior frequência e interdependência com as demais tecnologias digitais: a inteligência artificial. Pela IA se tratar de uma tecnologia que transforma dados em *insights* valiosos, essa tendência pode ser explicada pelo baixíssimo uso dos dados coletados para a tomada de decisões, onde apenas 1% dos dados vindos de 30.000 sensores de uma plataforma offshore é realmente aproveitado para fins estratégicos (GE, 2016). As decisões podem variar desde a escolha sobre onde perfurar até de que forma a elevação artificial de poços⁵ pode maximizar o valor presente líquido⁶ de um projeto (WORLD ECONOMIC FORUM, 2017).

⁵ A elevação artificial é um processo usado em poços de petróleo para aumentar a pressão dentro do reservatório e levar o petróleo à superfície (RIG ZONE, 2020).

⁶ Valor Presente Líquido (VPL): Indicador financeiro muito utilizado para a tomada de decisão de investidores. Quanto maior for o valor positivo do VPL, mais rentável será o investimento (DICIONARIO FINANCEIRO, 2020).

III.2 A Inteligência Artificial e suas tecnologias em E&P

A inteligência artificial geralmente se refere ao uso da tecnologia da computação para realizar um trabalho que normalmente requer inteligência humana e capacidade de aprendizado. Um exemplo é o reconhecimento de padrões em dados, seja em formato de texto, imagens, fala ou música, para posterior tomada de decisão. A IA capacita assistentes digitais pessoais, como smartphones e dispositivos domésticos, bem como mecanismos de inferência, como os usados em serviços de compras online para influenciar em um maior consumo de seus clientes. Conceitualmente, a IA está enraizada em máquinas que foram projetadas para pensar, entender e resolver problemas, assim como os humanos (SIEMENS, 2019).

No entanto, o termo inteligência artificial não se refere a apenas um tipo específico de tecnologia. Nas descrições sobre IA pela literatura moderna e urbana, muitos cientistas e autores se referem a IA como aprendizado de máquina, ou *Machine Learning* (ML). Apesar do ML ser uma aplicação da IA que é a base para processamento de dados, existem ainda muitas outras funções para a IA (CARROLL, 2020). Com isso, é possível identificar seis diferentes domínios nessa tecnologia: o aprendizado, a comunicação, o raciocínio, a percepção, o planejamento e a integração & interação. O aprendizado é a capacidade dos sistemas de aprender, decidir, prever, adaptar e reagir automaticamente às mudanças, melhorando com a experiência, sem serem explicitamente programados. A comunicação refere-se à capacidade da máquina de identificar, processar, entender e/ou gerar informações em comunicações humanas escritas e faladas. O raciocínio é o domínio que aborda a maneira como as máquinas transformam dados em conhecimento ou inferem fatos a partir dos dados. O quarto domínio sobre a percepção refere-se à capacidade dos sistemas de transformar entradas sensoriais brutas, como imagens e sons, em informações utilizáveis computacionalmente. Já o planejamento refere-se ao design e execução de estratégias para realizar alguma atividade. Por fim, o domínio transversal de integração & interação aborda a combinação da percepção, raciocínio, ação, aprendizado e interação com o ambiente, além de características como distribuição, coordenação, cooperação, autonomia, interação e integração (JRC, 2020; FORBES, 2018b). Cada um desses seis domínios possui subdomínios de tecnologias associadas, como mostra a figura III.2.

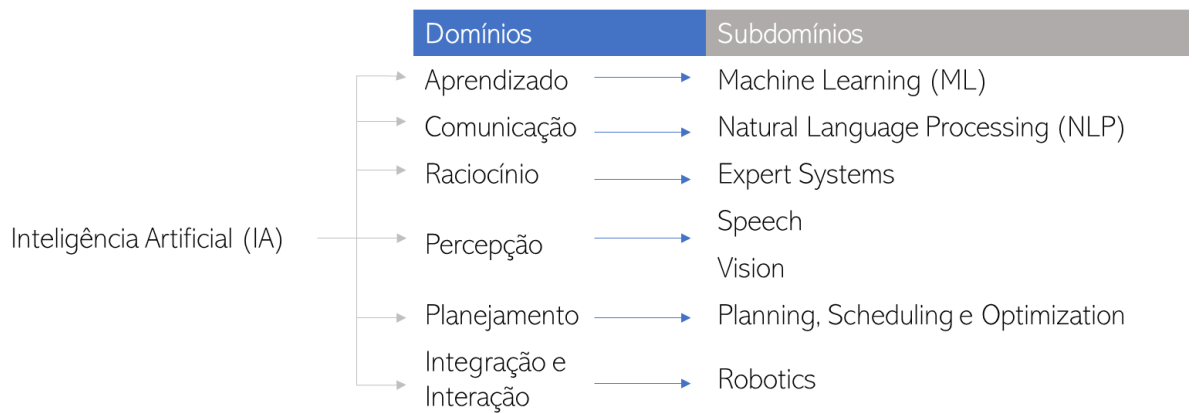


Figura III.2: Esquematização dos domínios da Inteligência Artificial (Adaptado: JRC, 2020; CARROLL, 2020).

Tais subdomínios de tecnologias possuem ainda mais desmembramentos comumente aplicados no mercado. A seguir serão exploradas cada uma dessas subcategorias da inteligência artificial, bem como os principais exemplos utilizados no setor de E&P.

III.2.1 Machine Learning

Os algoritmos de *machine learning*, ou aprendizado de máquina aplicam metodologias estatísticas para identificar padrões no comportamento humano passado e fornecer uma resposta ou decisão. Com isso, essa tecnologia é capaz de realizar previsões sobre tendências, comportamentos e atividades futuras associadas às análises preditivas, ou *predictive analytics*, que ficam cada vez melhores à medida que mais dados são alimentados (IBM, 2019b, ANSWERMINER, 2018). Aplicada na Exploração de petróleo, o ML é capaz de prever o valor dos enormes volumes dentro dos reservatórios de petróleo a partir da extrapolação de pequenas amostras de rocha coletadas por empresas petrolíferas (NVIDIA, 2017). Já na produção, o ML poderia detectar uma falha iminente de um ativo operacional, identificar as origens do problema, usando reconhecimento de padrões e análise de causa raiz, e ainda emitir um pedido automatizado de peças de reposição para a equipe técnica, ajudando assim a evitar um desligamento forçado e a dispendiosa interrupção nas atividades produtivas (SIEMENS, 2019).

No entanto, nas técnicas de ML a exploração de dados é limitada ao critério de identificação de padrões programado por um especialista, ou seja, algoritmos de ML não conseguem aprender por conta própria à medida que diferentes dados são introduzidos (MAHAPATRA, 2018). Sendo assim, surgiu uma subcategoria de ML que tem a capacidade de aprender por conta própria a partir de grandes montantes de dados, sem a ajuda de um programador: os algoritmos de *Deep Learning* (DL), ou aprendizado profundo (IBM, 2019b). Essa tecnologia usa modelos computacionais chamados de redes neurais (ANN – *Artificial Neural Networks*), que tem como princípio replicar os muitos trilhões de conexões do cérebro humano (SIEMENS, 2019). Como mostra a figura III.3, tanto o ML quanto o DL fazem parte da ciência de dados, que é comumente chamada de *data science*, um campo interdisciplinar que usa métodos científicos para extrair valor dos dados, combinando habilidades de campos como estatística e ciência da computação com conhecimento comercial para analisar dados coletados de várias fontes (ORACLE, 2020a).

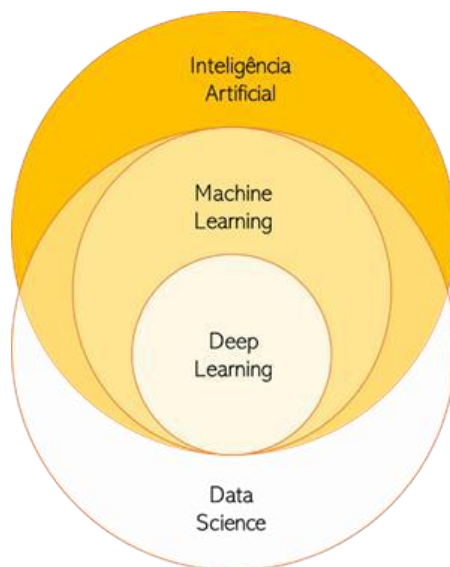


Figura III.3: Relação entre IA e Data Science (Adaptado: ORACLE, 2020a).

Devido a esse alto volume de dados, o DL exige também um alto poder computacional para ser treinado. Com isso, com uma nova evolução tecnológica, as unidades de processamento gráfico (GPUs – *Graphic Processing Units*), foi possível obter um maior desempenho ao lidar com um grande volume de cálculos, ao reduzir o tempo de treinamento de um algoritmo de DL de semanas à apenas horas, comparado às clássicas unidades centrais de processamento (CPUs – *Central Processing Units*) (NVIDIA, 2020a; IBM, 2020a). A computação de alto desempenho (HPC - *High*

Performance Computing) é o recurso computacional que pode combinar tanto CPUs quanto GPUs, de forma a habilitar a execução eficiente dos algoritmos de ML e DL (AMD, 2020). Em O&G, o DL pode ser usado para acelerar a exploração e descobrir falhas na geologia ao analisar dados brutos de traços sísmicos, que chegam a 10 *terabytes* por levantamento. E em produção, essa tecnologia pode ajudar as empresas de petróleo e gás a aprender a fraturar um determinado campo da maneira mais eficiente possível, sugerindo espaçamentos e padrões de pressão eficazes para cada poço (NVIDIA, 2017; 2018a).

Sendo assim, a IA aplicada à ciência de dados, seja como *machine learning* ou *deep learning*, visa dar suporte a decisões. No contexto de Recursos Humanos, por exemplo, essa modalidade pode ajudar engenheiros e técnicos a tomar decisões mais informadas, e em menos tempo. Apesar da aposentadoria de funcionários experientes ser um grande desafio para E&P, como será abordado no item V.2.1. do capítulo V, esses algoritmos podem ajudar uma força de trabalho mais jovem a executar conforme a necessidade da operação, por meio de uma maior integração dos domínios de tecnologias operacionais e de informação (SIEMENS, 2019), conforme será detalhado nos exemplos reais expostos no capítulo VI.

III.2.2 Natural Language Processing

Os seres humanos transmitem uma mensagem através de palavras, seja em forma de e-mails, manuais ou um relatório em formato pdf. Essas palavras são definidas como dados de texto não estruturados, ou seja, não são facilmente classificados ou adaptados para um formato fixo através de uma máquina. Isso é explicado pois os computadores foram programados apenas para reconhecer dados estruturados, ou seja, organizados com um tamanho definido e formato fixo, tais como números e datas que seguem uma estrutura tradicional de linhas e colunas armazenados em bancos de dados relacionais, como planilhas de Excel (ALLDUS, 2019; YSE, 2019; LYTRAS *et al*, 2018). Segundo Kulkarni *et al.* (2019), os dados estruturados representam apenas cerca de 20% dos dados gerados, ou seja, os outros 80% são os não estruturados, tais como imagens, áudios, vídeos e textos. Desses 80%, mais da metade corresponde aos textos que só passaram a ser analisados por máquinas graças a chegada do processamento de linguagem natural (NLP - *Natural Language Processing*).

A NLP faz parte do domínio de comunicação da IA e refere-se à capacidade da máquina de identificar, processar, entender e/ou gerar informações a partir de comunicações humanas de dados de texto não estruturados, desbloqueando uma vasta riqueza de informações valiosas (JRC, 2020). No entanto, antes da NLP atuar, os grandes conjuntos de dados não estruturados são organizados em metadados, ou dados que descrevem outros dados, que serão armazenados em um único banco de dados para possibilitar a execução do software de extração de informações estruturadas baseado em NLP. Com os dados de texto devidamente “limpos”, será possível habilitar a aplicação de algoritmos de *machine learning* para gerar insights valiosos (AZULAY, 2020). Assim como o ML é uma tecnologia de IA que faz parte do campo de ciência de dados, a NLP faz parte de mais dois campos da computação: a mineração de texto e a linguística computacional, como mostra a figura III.4 a seguir. O primeiro, também conhecido como *text mining*, é o processo ou a prática de examinar grandes coleções de recursos escritos para descobrir informações relevantes no texto (EXPERT SYSTEM, 2020). Já a linguística computacional tem como objetivo reproduzir a transmissão natural da informação por meio da construção de um modelo computacional da fala do orador e da interpretação do ouvinte (HAUSSER, 2013).

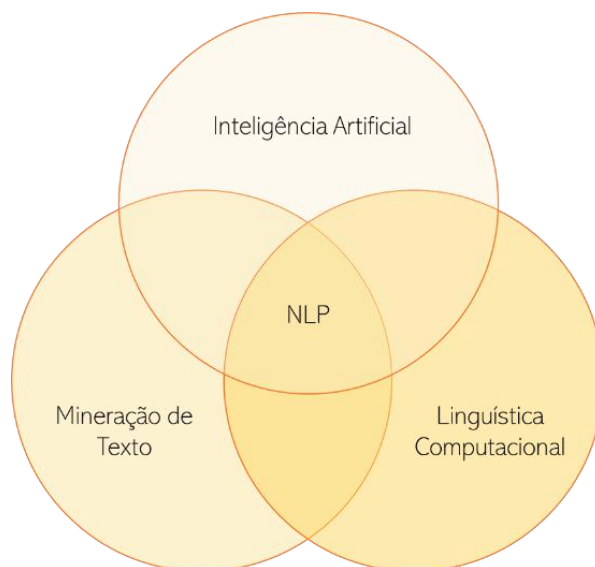


Figura III.4: Diagrama de interseção entre NLP e seus campos relacionados (Adaptado: MINER et al, 2012).

Em O&G, as técnicas de NLP ajudam a fornecer suporte aos usuários por meio de interfaces de conversação como *chatbots*, usados para buscar as respostas em forma de texto a perguntas difíceis dos profissionais de petróleo e gás (SPE, 2019; TESTING SAAS, 2020). Além disso, as

informações que podem ser extraídas de dados não estruturados incluem, por exemplo, relatórios governamentais, estudos geológicos, notas de manutenção manuscritas ou relatórios de perfuração e produção, que podem ser usados para maximizar a eficiência operacional de uma maneira totalmente nova (BHARADWAJ, 2018; ROSNER, 2017). Como exemplo de aplicação de NLP em E&P, quatro pesquisadores da Universidade de Stanford e da Universidade Texas A&M utilizaram essa tecnologia para extrair informações dos 9.670 relatórios de perfuração de 303 poços de um campo de petróleo. Nesses relatórios de perfuração há informações sobre o estado do poço de petróleo, o tipo de perfuração que está sendo feita, ou números de produção de petróleo e gás natural. Por meio da NLP, seria possível classificar automaticamente sentenças em relatórios antigos de perfuração de empresas de petróleo e gás e identificar padrões no comportamento operacional dessas empresas. Com essas informações exibidas ao longo do tempo, as operadoras conseguem determinar padrões claros de eficiência ou ineficiência do processo, identificando as melhores práticas para reduzir o tempo de inatividade e, conseqüentemente, melhorar a eficiência da produção (BHARADWAJ, 2018).

III.2.3 Expert System

Em IA, o sistema especialista, ou *Expert System* (ES), é um sistema computacional projetado para resolver problemas complexos por meio de um raciocínio com base em uma lógica condicional simples ou em regras mais complexas, imitando a habilidade de tomada de decisões de um especialista humano (SHMELOVA *et al*, 2020; IBM, 2020b). Apesar dos sistemas especialistas não substituírem os tomadores de decisão por não terem a autoconsciência humana de entender seus limites de habilidades e interconectar suas recomendações em um panorama mais geral, eles podem reduzir drasticamente o trabalho humano necessário para resolver um problema (ADLER, 2019). O esquema da figura III.5 representa o funcionamento de um sistema especialista, onde um usuário consegue facilmente obter por meio de uma interface computacional uma resposta ou recomendação de um profissional mais experiente sem precisar tomar o seu tempo.

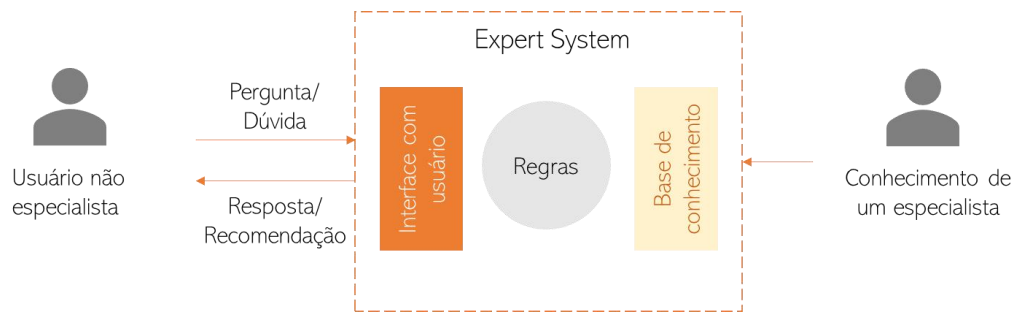


Figura III.5: Esquema de um Sistema Especialista (Adaptado: PANWAR, 2018)

Em O&G, os sistemas especialistas podem ser usados no campo petrolífero ao tentar reproduzir o conhecimento e as abordagens usadas por um especialista da área de petróleo para resolver uma série de questões reais (SCHLUMBERGER, 2020b). Segundo Lokko (2012), essa indústria viu principalmente o uso de ES em aplicações geológicas, como interpretação de dados sísmicos e caracterização de reservatórios. No entanto, Eghbali *et al.* (2016) pontuou que existem também aplicações na etapa de produção, como por exemplo para uma estimativa rápida para avaliar o sucesso de diferentes métodos EOR conhecidos com base nas condições do reservatório, características dos fluidos e propriedades da rocha. Sendo assim, esse sistema especialista incorpora as regras a partir de experiências bem-sucedidas do passado, reduz a necessidade de extensos testes laboratoriais e de campo, além evitar tomadas de decisão precipitadas.

No entanto, os *Expert Systems* não são recomendados para aplicações que possuem uma grande e diversa quantidade de dados, pois torna-se mais difícil para qualquer ser humano elaborar as regras e interpretá-las, já que essas regras poderiam ser ou complexas demais ou até mesmo desconhecidas. Essas limitações do ES são compensadas pelo aprendizado de máquina, onde, em vez de um ser humano elaborar essas regras, são fornecidos todos os dados de entrada a uma máquina para descobrir qual é a melhor decisão possível para essa tarefa específica (VERMA, 2019).

Apesar disso, o ES é recomendado caso o projeto lide com dados estruturados ou possua um pequeno conjunto de tipos de documentos bem conhecidos e com baixa variação. A razão pela qual os resultados serão melhores do que uma abordagem de ML é devido à capacidade do ES de especificar, com precisão, as regras usadas em documentos estáticos e definidos. Essa especificidade permite que os erros de acurácia associados a uma abordagem mais “abstrata” do aprendizado de máquina sejam removidos (COUNCIL, 2018).

III.2.4 Speech e Vision

A percepção refere-se à capacidade dos sistemas de tomar consciência de seu ambiente através dos sentidos, sendo a audição e a visão as áreas mais desenvolvidas da IA. Para o sentido de audição, o *Speech* é a tecnologia de IA que desenvolve metodologias e tecnologias que habilitam computadores a reconhecer e converter áudio e voz em texto escrito (SHMELOVA *et al*, 2020). As tarefas que convertem a fala para texto usam algoritmos de *machine learning* para aprender com grandes conjuntos de dados de amostras de voz humana (ADLER, 2019).

Já para a visão, o *Vision* ou *Computer Vision* (CV) é geralmente referido como reconhecimento de padrão de imagem para tarefas específicas ou, em um sentido mais amplo, como visão de máquina, com aplicações em reconhecimento de rostos e objetos em imagens digitais, reconhecimento de conteúdo de vídeo, entre outras aplicações (JRC, 2020). Quando a visão computacional é acoplada ao aprendizado profundo, tecnologia de IA que está associada a muitos dados, ela combina o desempenho otimizado com uma maior precisão e versatilidade na classificação de imagens (ADLER, 2019).

Como exemplo em Exploração de O&G, a visão computacional pode ser usada para ajudar geólogos a interpretar imagens de subsuperfície de estudos sísmicos mais rapidamente. Nesse sentido, o objetivo seria analisar os arquivos de imagem, correlacionar as descobertas com as informações extraídas dos documentos técnicos e resumir essas informações em um assistente de IA consultável, capaz de responder a perguntas sobre os dados do subsolo em linguagem natural, o que requer a NLP (BHARADWAJ, 2019). Em produção, a CV é capaz de analisar fontes de dados baseadas em vídeo e imagem para detectar e alertar riscos de segurança quase em tempo real, de modo que as empresas possam validar remotamente a segurança das operações do local e detectar a integridade dos ativos (C3.AI, 2020). Já o *Speech* pode ser utilizado tanto de uma maneira ampla, ao comunicar a especialistas oralmente as informações escritas presentes em um banco de dados de conhecimento, quanto de uma forma mais específica por meio da análise de sons emitidos por equipamentos rotativos de forma a sinalizar possíveis problemas de manutenção (CAPGEMINI, 2018). Além disso, o *Speech* associado à NLP e ML pode criar assistentes virtuais

para auxiliar profissionais na geração rápida de avaliações confiáveis de questões complexas envolvendo reservatórios, dados sísmicos e perfis de poços (KNOW MAX, 2019; SPE, 2019).

III.2.5 Planning, Scheduling e Optimization

O planejamento automatizado, ou *Planning*, é uma tecnologia da IA que se refere ao design e execução de uma sequência de estratégias ou ações para realizar alguma tarefa da forma mais otimizada possível, sendo desempenhada por agentes inteligentes, robôs autônomos ou veículos não tripulados (JRC, 2020). Essas soluções geralmente são complexas e por isso, exigem iteração frequente de tentativa e erro para ajustar os resultados. A *Scheduling* é a criação de atribuições temporais de atividades, levando em consideração as metas e restrições necessárias. Sendo assim, enquanto o *Planning* está determinando um algoritmo, o *Scheduling* está determinando a ordem e o tempo das ações geradas pelo algoritmo. Já a *Optimization* é usada para treinar um modelo de aprendizado de máquina, alterando seus parâmetros de maneira iterativa para encontrar o valor ótimo de um resultado (ADLER, 2019). Em O&G, foi encontrada somente a aplicação dessa tecnologia no setor *Downstream*, ao garantir um atendimento de pedidos em um intervalo de tempo mínimo e melhor uso dos estoques (FUTURE BRIDGE, 2020). A falta de exemplos para *Upstream* pode ser explicada devido à baixa tolerância à métodos de tentativa e erro pois poderiam acarretar acidentes e impactos econômicos graves.

III.2.6 Robotics

A robótica, ou *robotics*, é um ramo de inteligência artificial e engenharia que é usado para projetar e fabricar robôs. Tais robôs são o “corpo” de um sistema inteligente, cuja coordenação pode ser movida por algoritmos de IA para desempenhar tarefas complexas, tornando-os mais inteligentes e adaptáveis ao seu ambiente (MATE, 2020; JAVA POINT, 2020). No entanto, sem a IA e o corpo metálico, essa modalidade é definida como a *Robotic Process Automation* (RPA), um robô de software altamente focado em processos repetitivos e baseados em regras, onde os dados são altamente estruturados e disponíveis em formato digital (CSERNALABICS, 2019).

A ideia principal da robótica é tornar os robôs o mais autônomos possível através do aprendizado. Apesar de não alcançar a inteligência humana, há muitos exemplos bem sucedidos de robôs executando tarefas autônomas, como nadar, carregar caixas, pegar objetos e colocá-los no chão. Alguns robôs podem aprender a tomar decisões fazendo uma associação entre uma ação e um resultado desejado. Tais máquinas podem ser valiosas para organizações que desejam eliminar a participação humana em tarefas insalubres, maçantes e/ou perigosas (ADLER, 2019).

Esses robôs aprimorados por IA atuam em E&P ao ajudar os funcionários a executar suas tarefas de forma mais eficiente e substituí-los em funções perigosas em ambientes hostis, como em águas profundas (GETAC, 2020). As tarefas podem incluir inspeções aéreas e submarinas, respostas a vazamentos, execução de trabalhos que tiram o ser humano do perigo e fornecimento aos operadores *onshore* a telepresença em instalações *offshore*. Entre os robôs envolvidos na iniciativa está o Spot, o robô quadrúpede desenvolvido pela Boston Dynamics. A Cognite e a Aker BP testaram a mobilidade do Spot em ambientes simulados de petróleo e gás para garantir que ele possa alcançar locais de difícil acesso nessas instalações por meio da automação tradicional (ROBOTICS RESEARCH, 2020).

III.3 A Inteligência Artificial e a relação com as outras tecnologias digitais

A interconexão das tecnologias digitais com a inteligência artificial, mostrada na figura III.1 do item III.2 deste capítulo, demonstra a importância dessa ferramenta para não somente o setor de E&P, como de muitos outros. Por trás da atuação de *machine learning* ou *deep learning* para a identificação de padrões inesperados que auxiliam na tomada de decisões, existem tecnologias imprescindíveis responsáveis por coletar, armazenar, gerenciar, analisar e processar os dados que alimentam tais algoritmos (ROE, 2019). Com isso, é essencial para o ML e DL o uso de ferramentas digitais que trabalham em conjunto à alta velocidade e em tempo real, tais como o IoT, responsável por gerar *terabytes* de dados a partir de ativos, que por sua vez são encaminhados à infraestrutura computacional da nuvem que contém sistemas de *big data* para gerenciamento e de HPC para processamento dos dados por meio de GPUs e CPUs, de forma a habilitar algoritmos de IA para realizar estimativas e previsões importantes a partir desses dados (ROE, 2019; SAS, 2020). O

esquema exemplificado na figura III.6 mostra como ocorre a integração dessas e de outras tecnologias, que será abordada a seguir.

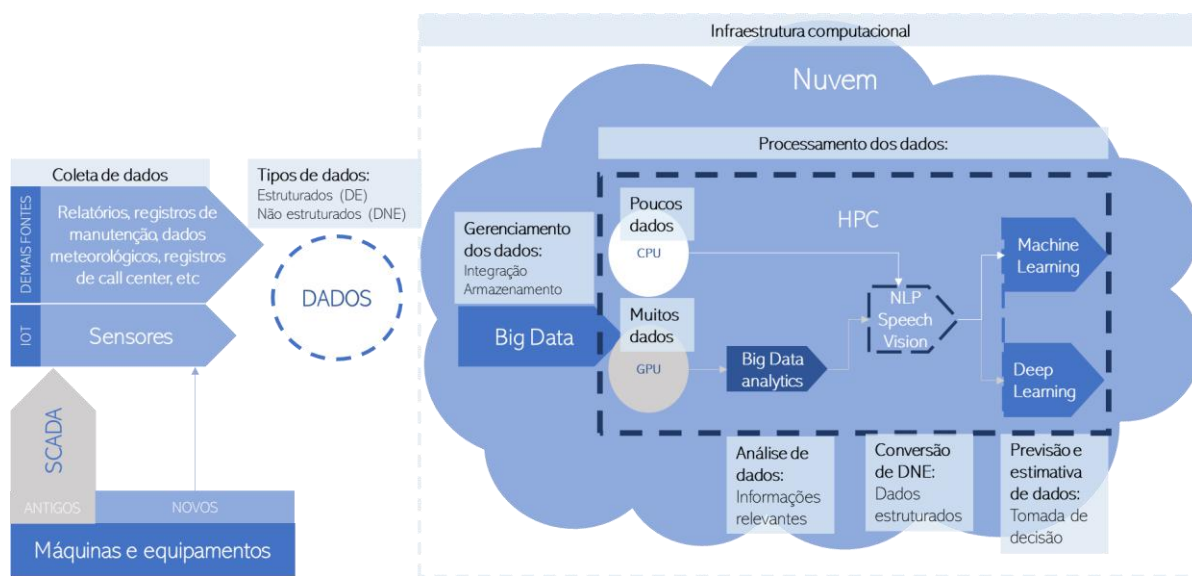


Figura III.6: Associação das tecnologias digitais (Elaboração própria a partir de: GRIZHNEVICH, 2018; ROE, 2019; AZULAY, 2020; JESUS, 2018; SAS, 2020).

Os sensores IoT são conectados via internet às máquinas e equipamentos para a geração instantânea de dados (BCG *et al*, 2017; IIOT WORLD, 2018), mas devido à presença de infraestrutura antiga em O&G e em outras indústrias de ativos pesados, os dispositivos IoT também coletam dados de sistemas como o *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). Esses sistemas de software e hardware criados há mais de 40 anos permitem que os dados retirados dos dispositivos de fábrica sejam visualizados apenas dentro da fábrica, ao contrário do IoT, que os disponibilizam em qualquer lugar, a qualquer momento por meio da nuvem (IIOT WORLD, 2018). Ao serem produzidos pelo IoT, esses enormes volumes de dados digitais são encaminhados para alimentar os sistemas de *big data* por meio de plataformas em nuvem, a fim de que seja possível armazenar tais dados e produzir informações úteis (MCKINLEY, 2020; VERMA, 2018; GRIZHNEVICH, 2018).

O *big data* é definido pela Oracle (2020) como um conjunto de dados com grande variedade que chegam em volumes crescentes e com velocidade cada vez maior, alimentados por diferentes fontes de dados. Esses conjuntos de dados são tão volumosos que o software tradicional de processamento de dados, como o HPC, simplesmente não consegue gerenciá-los. Uma vez que os dados estruturados (DE) e não estruturados (DNE) são integrados e armazenados pelo *big data*,

eles podem ser analisados por *big data analytics* para obtenção de informações relevantes (SAS, 2020). Segundo Yildiz (2019), caso as soluções de *big data* geradas pelos dados produzidos nos dispositivos IoT não estivessem na nuvem, haveria um alto custo e complexidade de implementação devido aos requisitos iniciais de infraestrutura para armazenamento, processamento e análise. Com a nuvem, ou *cloud*, é possível aumentar a capacidade de um servidor adicionando recursos de hardware à medida que os requisitos de processamento aumentam, como exemplo o uso de GPUs para DL na HPC, fornecendo assim análises avançadas de IA de forma econômica, escalável, segura e ágil (ASVATHANARAYANAN, 2018; SALES FORCE, 2020; NVIDIA, 2020a).

A fim de realizar a conversão de DNE para DE, são utilizadas tecnologias de IA como NLP, *Speech* e *Computer Vision* (AZULAY, 2020). Com isso, se torna possível o treinamento de modelos de ML e DL a partir desses dados já filtrados e estruturados, sendo o DL mais indicado para volumes imensos, como vindos de sensores IoT, e ML no caso de dados mais limitados como os de relatórios de manutenção por exemplo (IBM, 2019b). Esses algoritmos são aplicados para revelar correlações ocultas em conjuntos de dados e detectar padrões de dados anormais, como o tempo de inatividade não previsto ou o mau funcionamento de uma máquina, e uma vez reconhecidos, esses padrões são refletidos em modelos preditivos para serem usados para finalidades como a identificação da causa raiz do problema e manutenção preditiva de ativos a fim de evitar paralisações forçadas (GRIZHNEVICH, 2018; SIEMENS, 2019).

Outra tecnologia digital que pode ser associada à IA é o *Digital Twin* (DT). Essa tecnologia é definida como representações 3D de sistemas e ativos físicos que mostram o funcionamento interno e monitoram o desempenho de todos os componentes principais em uma instalação. Quando combinado com sensores IoT, os gêmeos digitais são capazes de monitorar o status dos ativos 24 horas por dia, 7 dias por semana, em tempo real. Ao incorporar os algoritmos de inteligência artificial ao DT, os produtores de petróleo podem identificar padrões para ficar à frente das necessidades de reparo de equipamentos, ao fornecer orientação sobre as peças e equipes de serviço que serão necessárias para fazer a manutenção de ativos problemáticos (SAWYER, 2020).

Como já mencionado, o setor de E&P produz uma grande quantidade de informações a cada segundo. Segundo algumas estimativas, os dados internos gerados por grandes empresas de O&G ultrapassam 1,5 *terabytes* por dia devido aos novos sensores IoT implantados (SLAUGHTER *et*

al, 2015). Essa indústria transita seu fluxo de dados vindos de sensores que detectam parâmetros como temperatura, pressão, viscosidade de fluidos, presença de substâncias estranhas e atividades sísmicas (ONAG, 2020). O quadro da figura III.7 mostra a relação dos dados produzidos por tipo de atividade de E&P com as soluções digitais comumente oferecidas para empresas de E&P.

Etapa	Exploração	Desenvolvimento	Perfuração	Produção
Soluções digitais	Aplicações de modelagem e interpretação de reservatórios	Aplicações de projetos de avaliação econômica, planejamento de instalação e construção	Aplicações de planejamento de poço e perfuração	Aplicações de operações em produção e manutenção
Dados	Dados geológicos, geofísicos e de fluidos:	Requisitos do projeto e dados de planejamento:	Planejamento de poço e dados dinâmicos de perfuração:	Planejamento de instalações e dados dinâmicos de sensores:
Dados atuais	<ul style="list-style-type: none"> Sísmica Perfilagem de poços Amostras de rocha 	<ul style="list-style-type: none"> Modelo de reservatório Estrutura e planejamento de campo Planejamento de processos e equipamentos Economia do campo petrolífero 	<ul style="list-style-type: none"> Hidráulica da plataforma Sensores de poço Taxas de fluxo de lama Status de equipamentos 	<ul style="list-style-type: none"> Pressão e temperatura Fluxo Erosão e corrosão Status de equipamentos
Dados históricos	<ul style="list-style-type: none"> Modelos de reservatório Habilidades e experiências em geologia e geofísica 	<ul style="list-style-type: none"> Planejamentos de projetos anteriores Dados de desempenho de projetos anteriores Habilidades e experiências em planejamento de campo 	<ul style="list-style-type: none"> Resultados de poços e perfuração anteriores Habilidades e experiências operacionais 	<ul style="list-style-type: none"> Dados de desempenho de produção anteriores Habilidades e experiências em produção
Fontes de dados	Dados do sensor adquiridos em lote	Dados estáticos criados com modelos e software	Transmissão de dados de sensores	Transmissão de dados de sensores

Figura III.7: Soluções digitais desenvolvidas por etapa da E&P (Adaptado (BCG, 2017)).

Segundo a empresa de consultoria BCG (2017), o setor de E&P tem sido um dos mais lentos para adotar as soluções digitais que transformam vários outros setores industriais desde a última década. Porém, esse paradigma vem mudando, principalmente devido ao dramático declínio nos preços do petróleo desde meados de 2014, com conseqüente queda nos fluxos de caixa e também queda na demanda. À medida que o setor busca maneiras de retornar à lucratividade, as soluções de IA vêm emergindo como parte da resposta, apresentando a possibilidade de um novo normal radicalmente mais eficiente. No entanto, há desafios que implicam nas aplicações da IA em *Upstream* e serão abordados no item seguinte deste capítulo.

III.4 Os Desafios para a Implementação da IA em E&P

Ao contrário das empresas de TI, onde falhar rápido e muitas vezes é o mantra para ajustar modelos computacionais e atingir melhores resultados, o custo de falha para a indústria de petróleo e gás é muito significativo. Isso restringe a quantidade de experimentação que as empresas podem empreender e as direciona para um foco em soluções de alta qualidade. A complexidade da engenharia necessária para desenvolver soluções no setor de E&P significa que as abordagens de IA muitas vezes precisam ser implantadas em situações altamente sofisticadas, com múltiplas variáveis em jogo. Além disso, os dados disponíveis são muitas vezes altamente valiosos comercialmente, de modo que os incentivos para os compartilhar em toda o setor podem ser baixos. Considerando todos esses fatores, não é de surpreender que o número de atividades para as quais a IA será altamente eficaz seja relativamente baixo em comparação com outras indústrias. No entanto, quando a IA for aplicada às áreas apropriadas, seu impacto provavelmente será considerável (LEK, 2019). As empresas de consultoria Lux Research (2020) e Lek (2019) indicaram por tipo de atividade de E&P o nível de progresso das soluções de IA, variando entre a não aplicabilidade à nível de produto ou serviço comercial. Na figura III.8 há a comparação dessas duas referências sobre esse assunto.

Etapa	Exploração	Desenvolvimento	Produção	Progresso da IA
Atividades	<input type="checkbox"/> Modelagem de reservatório <input type="checkbox"/> Mapeamento e prospecção geológica <input type="checkbox"/> Interpretação de dados sísmicos		<input checked="" type="checkbox"/> Bombeamento artificial <input checked="" type="checkbox"/> Transporte de petróleo bruto	Maduro
		<input checked="" type="checkbox"/> Planejamento e avaliação econômica de poços <input type="checkbox"/> Operações de perfuração	<input type="checkbox"/> Bombeamento artificial <input type="checkbox"/> Otimização no nível de produção <input type="checkbox"/> Operações das instalações de produção <input checked="" type="checkbox"/> Registro de poços	Desenvolvimento avançado
		<input checked="" type="checkbox"/> Caracterização do reservatório e amostragem de fluidos <input type="checkbox"/> Planejamento e avaliação econômica de poços <input type="checkbox"/> Instalações de produção e planejamento logístico <input type="checkbox"/> Estimulação de poços	<input checked="" type="checkbox"/> Gerenciamento do reservatório <input checked="" type="checkbox"/> Fraturamento hidráulico <input type="checkbox"/> Otimização de equipamentos de poços	Desenvolvimento inicial
	<input checked="" type="checkbox"/> Interpretação de dados sísmicos <input type="checkbox"/> Construção e testes iniciais de poços		<input type="checkbox"/> Inspeção de tubulação	Pesquisa
		<input type="checkbox"/> Operações do sistema de lama <input type="checkbox"/> Instalação de revestimentos <input type="checkbox"/> Implantação de tubulação	<input type="checkbox"/> Injeção de fluidos <input type="checkbox"/> Processamento e separação de produto <input type="checkbox"/> Transporte de petróleo bruto	Não aplicável

Lux Research
 Lek
 ● Pontos de discordância entre a Lux Research e a Lek

Figura III.8: Nível de progresso de soluções IA por tipo de atividade de E&P (Adaptado: LEK, 2019; LUX RESEARCH, 2020).

Apesar de haver algumas discordâncias dos autores mostradas em azul na figura III.8, é percebido que para certas atividades da E&P de petróleo a IA pode não possuir aplicações ou baixo nível de maturidade. A Lux Research (2020) ressalta que a maior parte das aplicações é de longo prazo por ainda estarem em fase de pesquisa e desenvolvimento e conseqüentemente, podem não produzir um retorno sobre investimento (ROI) tangível em um futuro próximo. Sendo assim, esse tipo de investimento no desenvolvimento de IA é normalmente realizado apenas por grandes operadoras de maior capital financeiro.

Uma pesquisa da EY em 2019 com as grandes operadoras de E&P identificou que dentre os desafios relacionados à implementação de novas tecnologias de IA, o principal apontado por mais de 50% das empresas é o equilíbrio de investimentos entre desenvolvimento interno, provedores de serviços e aquisições. Com isso, existe a dificuldade de acompanhar as tendências tecnológicas e decidir se vale mais a pena desenvolver as soluções de IA internamente ou apenas comprá-las. Aspectos como liderança, estratégia, funções e responsabilidades, dados, plataformas, governança e recursos desempenham papel importante na adoção bem-sucedida dessas soluções na organização, e não somente o conhecimento sobre quais atividades a IA pode ser aplicada. Em relação aos dados, o setor de petróleo e gás está repleto deles, porém, é fundamental obter os dados corretos, limpos e acessíveis antecipadamente para evitar resultados enviesados. A referida pesquisa aponta que caso exista um viés nos dados coletados, ou seja, uma parcialidade apenas para bons projetos ou resultados, a IA o amplificará e baseará apenas o aprendizado nesses bons projetos, o que gerará resultados e recomendações tendenciosas (EY, 2019a).

Outras duas barreiras apontadas pela consultora EY (2019) sobre a implementação da IA em E&P são os chamados silos de dados e o engajamento de funcionários para incorporar essa tecnologia em sua rotina. A primeira se refere a dificuldade de obter uma visão holística das informações necessárias para melhorar as operações pelas unidades de E&P, devido ao armazenamento local dos dados e longas e complexas cadeias de valor. As unidades relacionadas ao *Upstream* podem precisar de dados ou *insights* gerados a partir de unidades de *Midstream* ou *Downstream*, e vice-versa, para realmente entender como as oportunidades e ameaças estão evoluindo - e responder de forma rápida e adequada. A consultora destaca que sem a consolidação dos dados do setor *Upstream*, as soluções habilitadas para IA serão sempre parciais e não fornecerão o máximo valor à organização ou à cadeia de valor como um todo. A segunda barreira

envolve a parte cultural do setor de E&P, que é o engajamento dos funcionários. A EY (2019) comenta que pode haver certa relutância e ceticismo em relação ao potencial da IA, e isso pode levar algum tempo para ser superado (EY, 2019b). A figura III.9 mostra um quadro que resume esses quatro desafios apontados pela EY.

#	Desafios
1	Indecisão de investimentos em IA por meio de desenvolvimento interno, provedores de serviços ou aquisições
2	Resultados de IA tendenciosos
3	Silos de dados: soluções de IA parciais
4	Engajamento de funcionários em aderir a IA

Figura III.9: Desafios da Implementação de IA (Adaptado: EY, 2019a; EY, 2019b).

Para os desafios apontados na figura III.9, existe uma série de recomendações apontadas pelas empresas de consultoria EY e Lek para a implementação da IA no setor de E&P. Sobre a indecisão de investimentos em IA por meio de desenvolvimento interno, provedores de serviços ou aquisições, as consultoras destacam a importância da construção de parcerias. A Lek (2019) reforça que a curto prazo as operadoras de E&P devem unir forças com empresas que possuem alta expertise no assunto, já que algumas das habilidades necessárias são tão especializadas que será difícil encontrar pessoas tanto para recrutar quanto para mantê-las produtivas. Com apoio a essa ideia, a EY (2019) também ressalta a importância de avaliar estrategicamente quais recursos serão construídos na organização e quais recursos serão terceirizados (EY, 2019a).

Com relação ao risco de gerar resultados enviesados, a EY ressalta que os sistemas de IA tomam decisões mais rapidamente, portanto, as empresas devem desenvolver abordagens apropriadas de monitoramento e gerenciamento de riscos. Uma vez que os dados estejam em boa forma, as técnicas de IA melhoram e evoluem, de modo que se torne possível alcançar os resultados mais fiéis a realidade com mais facilidade (EY, 2019a). Sobre a integração dos dados, a EY

recomenda a criação uma plataforma de dados integrada às operações e à cadeia de valor para ajudar na criação de uma base sobre a qual a IA pode aproveitar essa visão mais unificada de dados corporativos em toda a empresa para não somente aumentar a eficiência dos processos como identificar demais oportunidades de melhoria. Sobre o engajamento dos funcionários, a consultora indica a instigação da cultura da empresa a receber a tecnologia por meio da implementação de programas de comunicação, treinamento e imersão em toda a empresa para ajudar a equipe de todos os níveis a entender melhor como a IA pode ajudar a melhorar o desempenho individual e coletivo. Além disso, nessa iniciativa os profissionais também entenderiam como interagir com a IA para melhorar suas habilidades e experiências de trabalho (EY, 2019b).

III.5 O ecossistema de parcerias em E&P na transformação digital e IA

Com a introdução das plataformas digitais no ecossistema de empresas do setor de E&P, as empresas de petróleo e gás devem identificar e colaborar com atores chaves para transformar dados vindos de sistemas, equipamentos e sensores em informações valiosas (OIL AND GAS IQ, 2019; ACCENTURE, 2017). Sendo assim, ao mesmo tempo que as empresas começam uma nova onda de soluções tecnológicas no *Upstream*, é criado no ambiente atual uma convergência de interesses entre as empresas de petróleo, suas prestadoras de serviço em E&P (PSEPs) e outros parceiros do setor de tecnologia. A inserção das tecnologias digitais tem feito o setor reconsiderar os atuais modelos de negócios à medida que operadoras e PSEPs se adaptam a novas funções (BCG, 2017).

No modelo de negócios atual, as operadoras coordenam a cadeia de valor e possuem a maioria dos dados críticos ao longo dela. Segundo a empresa de consultoria BCG (2017), esses atores devem manter a propriedade dos dados e modelos do subsolo, os quais são as principais fontes de vantagem competitiva. À medida que mais tarefas de interpretação de dados são automatizadas, as operadoras devem procurar fortalecer seus recursos de computação de alto desempenho e investir em novos recursos de IA, como o aprendizado de máquina (BCG, 2017).

Para a etapa de exploração, as empresas PSEPs vêm fornecendo a maioria dos recursos de aquisição de dados e soluções de processamento de dados. No entanto, suas posições podem ser ameaçadas por uma rápida mudança em direção à arquitetura de computação de alto desempenho baseada na nuvem e pelo surgimento de empresas startups recém-chegadas, especializadas em

tecnologia de aprendizado de máquina. Com isso, a consultora BCG recomenda que as PSEPs se concentrem na migração de seus sistemas para as novas arquiteturas computacionais e na aceleração de seus investimentos em recursos de análise e aprendizado de máquina. Já para atividades de perfuração, proprietários da plataforma de petróleo e empresas de PSEPs também precisarão consolidar parcerias com fabricantes de sistemas e sensores de controle industrial para melhorar a automação e integração dos principais processos da plataforma de perfuração (BCG, 2017).

No caso da produção, as operadoras têm um papel importante de supervisão ao reunir dados de diferentes fornecedores ao longo da cadeia de valor e, assim, permitir a otimização de todos os ativos, tais como o reservatório, poços e instalações. Essas empresas devem assumir uma função de liderança e colaborar com outras operadoras e fornecedores de tecnologia de IoT ao compartilhar os dados necessários para desenvolver padrões para as novas plataformas de dados. Sob tais contratos, as PSEPs têm acesso aos dados e sensores da operadora e são incentivadas a usá-los efetivamente para garantir que o equipamento continue funcionando, em vez de ser pago quando falhar, além de melhorar projetos futuros (BCG, 2017).

A empresa de consultoria BCG ao analisar as atividades, os fluxos de dados e os possíveis desenvolvimentos tecnológicos em E&P, ressaltou que as operadoras e suas prestadoras de serviço precisam criar parcerias com empresas de tecnologias digitais para obter acesso a recursos escaláveis de processamento de dados de alto desempenho e estabelecer recursos internos para uma resposta ágil a novas oportunidades digitais em rápida mudança. Sendo assim, esses atores seriam capazes de desenvolver tanto novos produtos e serviços como novos acordos comerciais para capturar o valor da digitalização e navegar pela complexidade e incerteza para tomar ações decisivas (BCG, 2017).

Nesse contexto, existem os PSEPs como a Rockwell, Siemens, Honeywell e Schneider Electric que focam suas atividades em automação industrial, e estão desenvolvendo recursos de computação em nuvem, IA, análise de *big data* e IoT em suas ofertas (ROE, 2019). Além dessa colaboração dentro do próprio setor petrolífero, há também relações com empresas de software de pequeno porte criadas especificamente para aplicações de IA, como a Seeq e a Element Analysis. Essas empresas se integram à infraestrutura de grandes fornecedores de plataformas em nuvem, como a Microsoft e a Google, sendo capazes de adaptar soluções de IA para atender diretamente

às necessidades das empresas de petróleo e gás, e fornecer informações poderosas análises de dados. Com essas parcerias, as empresas de petróleo e gás podem entrar em sua era de maturidade digital e se tornar totalmente integradas e interconectadas (OIL AND GAS IQ, 2019; ROE, 2019).

Assim, a digitalização vem trazendo um impacto profundo para as relações das operadoras em E&P e suas prestadoras de serviço, visto que essa onda de soluções digitais trará maior inovação tecnológica para o setor. Ao mesmo tempo, empresas de diferentes portes do setor de tecnologia têm sido incorporadas como novos entrantes no ecossistema desse setor, transformando práticas estabelecidas por décadas para alinhá-los às novas tendências disruptivas. Com isso, o potencial de transformação lucrativa somente será plenamente realizado caso as empresas de E&P adotem novos modelos de negócios, investindo mais em inovação tecnológica com colaborações adaptadas a essa nova Era digital (BCG, 2017; MCKINSEY, 2018).

IV Metodologia

O presente capítulo apresenta a metodologia deste estudo, o qual seguiu uma abordagem exploratória e qualitativa. Tendo em vista os objetivos deste trabalho, o capítulo está estruturado em duas partes: na primeira, será explicada a metodologia de análise do ecossistema de tecnologia de inteligência artificial aplicada à Exploração e Produção de O&G; e na segunda, será abordada a metodologia de mapeamento de desafios técnicos e de negócios com as dimensões utilizadas nas análises das soluções e iniciativas identificadas.

Cabe ressaltar que a busca de dados foi realizada utilizando-se palavras-chave nos portais de pesquisa da *Google* e portal de artigos acadêmicos voltadas para E&P, a *OnePetro*. A estratégia de busca pode ser visualizada no Apêndice A deste trabalho.

IV.1 Construção e análise do Ecossistema da IA para E&P

De forma a construir e analisar o referido ecossistema, o primeiro passo foi identificar os atores. Optou-se por incluir no ecossistema os atores mais relevantes de cada um dos setores envolvidos nas atividades de E&P e IA. Este recorte torna o estudo não exaustivo e focado nos atores que potencialmente teriam maior envolvimento no ecossistema atualmente.

Para isso, procurou-se as listas das maiores empresas destes setores. Cada uma dessas listas foi extraída de uma referência especializada, para o ano de 2019 em diante, dada a diversidade de segmentos pesquisados. A tabela IV.1 apresenta a referência utilizada para cada segmento e os critérios de construção da lista pela referência considerada.

Tabela IV.1: Critérios adotados pela seleção dos atores

Segmento	Referência	Critérios adotados pela referência	Critérios de seleção do presente estudo
Operadoras em E&P	(FORTUNE, 2019)	Ranking com 500 Empresas com base no maior faturamento no ano de 2019.	10 primeiras empresas de E&P da lista.
Prestadoras de serviço em E&P	(OIL AND GAS MIDDLE EAST, 2019)	Ranking com 30 Empresas de serviços de campos petrolíferos, que possuem presença e o foco no Oriente Médio, avaliando-se: planos de crescimento; linha de produtos; projetos concluídos, em andamento e programados; compromissos de responsabilidade social; compromisso com a saúde e segurança, tanto dentro da empresa quanto na comunidade ao redor.	10 primeiras da lista.
Prestadoras de serviços em IA	(IDC, 2019)	Ranking com 12 prestadores de serviços de IA com amplos portfólios que abrangem a cobertura de pesquisa da IDC e em escala global. Essa avaliação foi projetada para avaliar as características de cada empresa - em oposição ao tamanho ou à amplitude de seus serviços.	10 primeiras da lista.
Prestadoras de serviços em IA para E&P	(APNEWS, 2020; MORGON INTELLIGENCE, 2019)	Lista de 10 principais participantes da Inteligência Artificial no mercado de petróleo e gás em nível global na Business Wire e 11 na Morgon Intelligence.	10 empresas prestadores de serviços em IA selecionadas por critério de maior faturamento anual.

Fonte: Elaboração própria.

As empresas selecionadas estão apresentadas na tabela IV.2.

Tabela IV.2: Relação das empresas selecionadas para o estudo do ecossistema de IA aplicada à E&P

Operadoras em E&P	Prestadoras de serviços em E&P	Prestadoras de serviços em IA	Prestadoras de serviços em IA para E&P
ExxonMobil	Schlumberger	Accenture	IBM
Gazprom Neft	Halliburton	Deloitte	Accenture
Royal Dutch Shell	Baker Hughes	HCL	Google
Saudi Aramco	Weir	Wipro	Microsoft
Chevron	Emerson	IBM	Oracle
CNPC	Schneider Electric	Cognizant	Infosys
Total	National Oilwell Varco	TCS	Intel
BP	ABB	Atos	Huawei
Sinopec	Siemens	EY	NVIDIA
Lukoil	Weatherford	Infosys	Cisco

Fonte: Elaboração própria.

A partir da lista da tabela IV.2, as empresas selecionadas foram categorizadas, baseando-se nas seguintes definições:

- **Operadoras em E&P:** empresas que exploram e produzem petróleo e gás natural, incluindo-se ou não atividades com refino e distribuição. Dos atores selecionados dessa categoria, foram distinguidas duas subcategorias: as empresas nacionais (NOCs) e as internacionais (IOCs).
- **Prestadoras de serviço em E&P (PSEPs):** empresas que prestam serviços para as Operadoras em E&P, mas que não produzem petróleo. Dos atores selecionados dessa categoria, foram distinguidas duas subcategorias: as prestadoras exclusivas do setor de E&P (Especialistas) e aquelas que prestam serviços para diversos outros segmentos industriais (Indústrias diversas).
- **Prestadoras de serviço em IA (PSIAs):** empresas que ofereçam produtos e serviços em inteligência artificial integrados ou não com outras tecnologias digitais para diversos tipos de indústrias.

Para chegar ao grupo das Prestadoras de serviços em IA, foi feita a interseção das empresas que figuram nas colunas 3 e 4 da tabela IV.2. O grupo PSIA, engloba assim um total de 17 atores, como mostrado na figura IV.1. Dos atores selecionados dessa categoria, foram distinguidas duas subcategorias com base nas referências da tabela IV.1: as prestadoras de IA consideradas como grandes atores no setor de E&P (Referências em IA para E&P), aquelas que somente são consideradas grandes atores em IA (Referências em IA) e em ambos (Referências em E&P e IA).

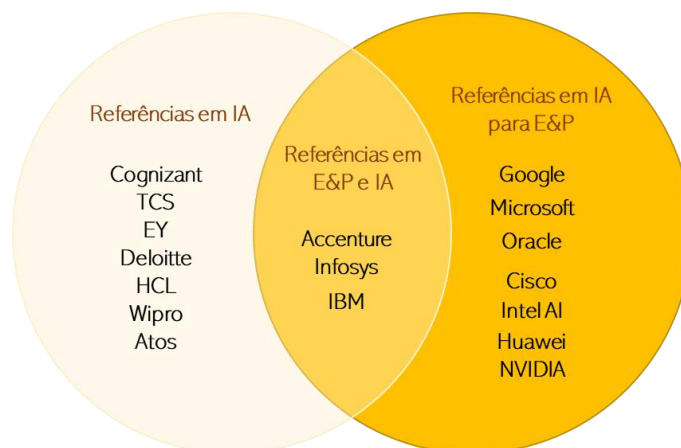


Figura IV.1: Prestadoras de serviços em IA

De forma a compreender melhor o perfil das empresas identificadas, levantou-se os dados de receita média anual, extraída de sites especializados em informações de negócios como a *Owler* e *Zoominfo*, e a existência de programas de IA para E&P e suas parcerias, a partir de buscas nos websites das empresas e comunicados de imprensa encontrados no portal de pesquisa da Google.

Para identificar a existência de programas de IA para E&P no website da empresa, foram utilizados os seguintes critérios:

- **Prestadoras de serviços (em E&P ou IA):** a presença de seções de produtos, serviços ou soluções que envolvam inteligência artificial, acompanhada ou não de outras tecnologias digitais, associada diretamente ao setor de E&P; ou com pelo menos um estudo de caso divulgado que aponte uma aplicação de IA ao setor de E&P.
- **Operadoras em E&P:** a presença de produtos ou soluções que envolvam inteligência artificial, acompanhada ou não de outras tecnologias digitais, aplicadas na própria empresa ou licenciadas a terceiros.

Em seguida, para cada operadora em E&P foi analisado o tipo de vínculo que esta possui com o programa de IA, sendo dividido três tipos:

- **Proprietário:** o ator possui o seu próprio programa de IA, não explicitamente ligado à outra empresa.
- **Investidor:** o ator investe financeiramente em startups de IA.
- **Parceiro:** o ator e outra empresa parceira se unem para promover uma solução ou iniciativa de IA aplicada à E&P.

Neste trabalho, as parcerias para a construção dos gráficos e tabelas foram consultadas com os seguintes pares: Operadoras com PSIAs; PSEPs com PSIAs e PSIAs com Especialistas em E&P. Neste estudo, entende-se como especialistas em E&P qualquer organização com um foco em E&P, seja ela uma Operadora em E&P ou PSEP⁷.

⁷ Ressalta-se que não foram mapeadas as parcerias das operadoras com as prestadoras de serviço em E&P no contexto de IA, pois subentende-se que esses atores já possuem forte vínculo, como explicado no item II.2.8 do capítulo II deste trabalho. Além disso, também foram desconsideradas parcerias com entidades acadêmicas e parcerias sem detalhamento sobre o grau de contribuição de cada parte.

Para os parceiros das operadoras em E&P e PSEPs, foram considerados três categorias de tamanho ou porte para a análise: startups, médio porte ou grande porte. A tabela IV.3 a seguir demonstra os critérios que foram utilizados de acordo com Tom Ireland (2015) e o glossário da especialista em pesquisa de mercado Gartner (2020), sendo a receita anual coletada de sites especializados em informações de negócios como a *Owler* e *Zoominfo*. Caso um dos dois critérios não tenha sido atendido, é considerada a receita anual como o critério mais relevante na classificação.

Tabela IV.3: Critérios de classificação do tamanho de uma empresa

Tamanho	Número de funcionários	Receita anual
Startup	<100	< US\$ 50 milhões
Médio porte	100-999	US\$ 50 milhões - US\$ 1 bilhão
Grande porte	>1000	> US\$ 1 bilhão

Fonte: Elaboração própria.

Além disso, para as operadoras em E&P, foram analisados os programas de IA sob o aspecto estratégico de desenvolver a tecnologia internamente, externamente ou de forma mista. Desenvolver internamente significa investir na capacitação dos próprios funcionários da operadora em tecnologias IA visando uma possível maior autonomia ou independência em relação às PSIAs. Já o desenvolvimento externo envolve o investimento em projetos de IA com as PSIAs, seja como cliente, parceiro ou investidor financeiro; e mista significa o investimento nas duas estratégias anteriores.

Todas as informações obtidas foram organizadas em um banco de dados em *Excel*, identificando-se um total de 46 iniciativas de IA dos 37 atores selecionados nesse estudo. Para a construção dos gráficos, foi utilizado, além do próprio Excel, o software *RAWGraphs* e, para a construção de uma nuvem de palavras, o software *WordArt*.

IV.2 Estudo dos desafios técnicos e de negócios

Neste item serão explicados os critérios tanto para a seleção dos desafios técnicos e de negócios, quanto para a identificação e análise de possíveis soluções de IA que atendam tais desafios, dos quais os critérios de seleção não possuem qualquer associação a essa tecnologia digital. Esses desafios de serão explorados detalhadamente no capítulo V e a identificação dos mesmos seguiu diferentes metodologias que serão apresentadas a seguir.

IV.2.1 Desafios técnicos

Nesta parte do estudo, o primeiro passo foi identificar organizações sem fins lucrativos que promovem conferências para profissionais e acadêmicos do setor de E&P através do portal *OnePetro*. Os dois critérios de seleção das organizações foram: presença global e especialização do setor de Exploração e Produção nas modalidades *onshore* e *offshore*. Como resultado, foram selecionadas as seguintes organizações para a busca dos desafios técnicos mais relevantes para o setor de E&P: *International Petroleum Technology Conference (IPTC)*⁸, *Society of Petroleum Engineers (SPE)*⁹ e *World Petroleum Council (WPC)*¹⁰.

Após a seleção das organizações, utilizou-se três critérios para a seleção dos desafios técnicos: escopo, que deve abranger desafios mais gerais, ou seja, que não são restritos a áreas específicas; temporalidade, priorizando os mais recentes e; nível de detalhamento alto.

Como resultado, foram selecionados os desafios divulgados pela SPE (SPE, 2020b). Tais desafios técnicos e seus objetivos gerais foram traduzidos e/ou interpretados a partir do texto de

⁸ A Conferência Internacional de Tecnologia de Petróleo (IPTC) promove o avanço do conhecimento científico e tecnológico relacionado à exploração, desenvolvimento, produção, transporte e processamento de petróleo e gás natural, e ocorre entre as regiões do Oriente Médio e Ásia-Pacífico (IPTC, 2020).

⁹ A Sociedade dos Engenheiros de Petróleo (SPE) é uma organização profissional sem fins lucrativos cuja missão declarada é coletar, disseminar e trocar conhecimento técnico sobre a exploração, desenvolvimento e produção de recursos de petróleo e gás e tecnologias relacionadas para o benefício público. A organização fornece e gerencia o OnePetro e a PetroWiki, além de publicar revistas, jornais revisados por pares e livros (SPE, 2020a).

¹⁰ O Conselho Mundial do Petróleo (WPC) é uma organização não-política com status de caridade no Reino Unido e tem credenciamento como Organização Não Governamental (ONG) das Nações Unidas (ONU). O WPC é dedicado à promoção do gerenciamento sustentável e do uso dos recursos petrolíferos do mundo para o benefício de todos (WPC, 2020).

referência da SPE, como mostrado nas tabelas IV.4 e IV.5. Esses desafios serão discutidos detalhadamente no capítulo V.

Tabela IV.4: Desafios técnicos extraídos da SPE

#	Título original	Desafios
1	"Higher Resolution Subsurface Imaging"	Imagens de subsuperfície de alta resolução
2	"Challenges in Reusing Produced Water"	Reutilização da água produzida
3	"In-Situ Molecular Manipulation"	Manipulação Molecular In Situ
4	"Increasing Hydrocarbon Recovery Factors"	Aumento do fator de Recuperação de Hidrocarbonetos
5	"Carbon Capture and Sequestration"	Captação e Fixação de Carbono

Fonte: Elaboração própria.

Tabela IV.5: Objetivos gerais extraídos da SPE

#	Trecho original	Tradução	Objetivos gerais
1	" (...) The industry's goal is to continuously improve the subsurface images needed to better find and produce hydrocarbons in reservoirs such as this."	"(...) O objetivo do setor é melhorar continuamente as imagens de subsuperfície necessárias para encontrar e produzir melhor hidrocarbonetos em reservatórios como esse."	Melhorar a exploração de hidrocarbonetos em reservatórios.
2	"(...) These challenges include high treatment cost, potential chronic toxicity of the treated produced water, and public acceptance."	"(...) Esses desafios incluem alto custo de tratamento, potencial toxicidade crônica da água produzida tratada e aceitação pública."	Diminuir alto custo do tratamento e potencial toxicidade crônica da água produzida tratada, assim como melhorar a aceitação do público quanto ao reuso da água.
3	"(...) The approach is to modify the contents of the reservoir at its source so that their harsh effects are reduced or eliminated and the reservoir can be produced efficiently."	"(...) A abordagem é modificar o conteúdo do reservatório em sua fonte, para que seus efeitos adversos sejam reduzidos ou eliminados e o reservatório possa ser produzido com eficiência."	Modificar o conteúdo do reservatório em sua fonte, para que seus efeitos adversos sejam reduzidos ou eliminados e o reservatório possa ser produzido com eficiência.
4	"(...) operators and service companies need to find ways to maximize recovery while minimizing operational costs and environmental imprint."	"(...) operadores e empresas de serviços precisam encontrar maneiras de maximizar a recuperação, minimizando os custos operacionais e a impressão ambiental."	Maximizar a recuperação de hidrocarbonetos, minimizando os custos operacionais e o impacto ambiental.
5	"(...) the key challenges to enable CCS, which include cost effective capture and transport of industrial CO ₂ , clear access to pore space for CO ₂ storage in geologic formations, proven methodologies for demonstrating storage integrity, dissemination of best practices, and the role the members of the SPE may play in addressing these challenges."	"(...) os principais desafios para habilitar o CCS, que incluem captura e transporte econômicos de CO ₂ industrial, acesso claro ao espaço dos poros para armazenamento de CO ₂ em formações geológicas, metodologias comprovadas para demonstrar a integridade do armazenamento, disseminação das melhores práticas e o papel dos membros da SPE que podem ajudar a enfrentar esses desafios."	Captura e transporte econômicos de CO ₂ industrial, acesso claro ao espaço poroso para armazenamento de CO ₂ em formações geológicas, metodologias comprovadas para demonstrar a integridade do armazenamento.

Fonte: Elaboração própria.

Uma vez identificados os desafios, iniciou-se a busca por possíveis soluções de IA, implantadas por empresas que possam enfrentá-los diretamente ou responder aos seus objetivos gerais, nos portais de pesquisa da Google e *OnePetro*, seguindo a metodologia de palavras-chave explicitada no Apêndice A.

Além da redação de cada caso, foram também utilizadas dimensões analíticas de forma a discutir as características do conjunto de iniciativas identificadas. As dimensões analíticas – nível de progresso e de atendimento aos desafios – estão detalhadas a seguir.

Os critérios considerados para a classificação das soluções quanto ao nível de progresso foram os seguintes:

- **Pesquisa & Desenvolvimento (P&D):** quando a solução de IA ainda não foi plenamente validada ou aplicada, mas encontra-se ainda em fase de desenvolvimento. Evidências levadas em consideração para classificar esse estágio foram a menção sobre projetos de pesquisa ou sobre uma estimativa de prazo de lançamento da solução no website da empresa ou em *press releases*, ou apenas a presença de artigos científicos em bibliotecas on-line de literatura técnica, como a *Onepetro* e a *ResearchGate*.
- **Solução customizada:** quando a solução de IA foi validada ou aplicada por parcerias entre uma empresa de E&P e uma empresa de tecnologia. Evidências levadas em consideração para classificar esse estágio foram a presença de *press releases* sobre a aplicação da solução realizada com sucesso.
- **Serviço ou Produto:** quando a solução de IA é aplicada como um serviço para o setor de E&P. Evidências levadas em consideração para classificar esse estágio foram a presença no website da prestadora de serviço de IA a descrição do produto/serviço ou de estudo de caso específico para a solução do desafio em E&P.

Em seguida, classificou-se as soluções quanto o atendimento aos desafios propostos em Parcial, Alternativa e Completa. Os critérios considerados para essa classificação foram os seguintes:

- **Parcial:** solução que pode ser usada como ferramenta para auxiliar o enfrentamento do desafio e atingir o respectivo objetivo geral, porém a solução por si só não o soluciona por completo.
- **Alternativa:** solução alternativa ao desafio proposto, que atende de certa forma ao objetivo final do mesmo.
- **Completa:** solução que atende diretamente ao desafio proposto, além do objetivo final do mesmo.

Uma base de dados foi construída englobando as dimensões detalhadas acima e também quais são os tipos de tecnologias de IA utilizadas em cada solução, tais como *machine learning*, *deep learning*, entre outras. Ao todo foram selecionadas 12 soluções de IA que atendem aos desafios técnicos, as quais serão discutidas no capítulo VI.

IV.2.2 Desafios de negócios

Nesta parte do estudo, o primeiro passo foi procurar as listas de desafios de negócios em O&G divulgados de 2018 em diante por consultorias, como a KPMG¹¹, Deloitte¹² e EY¹³; empresas especializadas em pesquisa de mercado, como a *Infiniti Research*¹⁴ e *Lux Research*¹⁵, dentre outras

¹¹ A KPMG opera como uma rede global de firmas-membro independentes que oferecem serviços de auditoria, impostos e consultoria; trabalhando em estreita colaboração com os clientes, ajudando-os a mitigar riscos e aproveitar oportunidades (KPMG, 2020). A empresa divulgou um relatório sobre as tendências da Indústria de O&G para 2019 (KPMG, 2019).

¹² A Deloitte é líder em serviços de Auditoria, Consultoria, Assessoria Financeira, Aconselhamento de Risco, Consultoria Tributária e serviços relacionados (DELOITTE, 2020a). A empresa divulgou sobre os principais problemas enfrentados pela indústria brasileira de petróleo e gás (DELOITTE, 2020b) e um relatório sobre as perspectivas da indústria de petróleo, gás e química para 2020 (DELOITTE, 2020c).

¹³ A EY é uma empresa global em auditoria, impostos, transações e consultoria (LINKEDIN, 2020a). A empresa publicou um artigo citando dois desafios enfrentados pela Indústria O&G (EY, 2020a).

¹⁴ A Infiniti Research é um fornecedor de soluções de inteligência de mercado para os principais atores de todos os setores (INFINITI RESEARCH, 2020) e publicou sobre os maiores desafios enfrentados na Indústria de O&G no ano de 2019 (INFINITI RESEARCH, 2019).

¹⁵ A Lux Research é uma provedora de soluções de pesquisa e consultoria habilitadas para tecnologia, ajudando os clientes a impulsionar o crescimento por meio da inovação tecnológica (LINKEDIN, 2020b). A empresa publicou um artigo sobre os quatro principais desafios enfrentados pelos líderes de petróleo e gás (LUX RESEARCH, 2019).

empresas de serviços, como a PLS Logistics services¹⁶. Em seguida, compilou-se os desafios divulgados para realizar uma classificação em dois grupos de fatores: Internos e Externos. A partir desses grupos, os desafios identificados foram divididos em cinco subcategorias: “Recursos Humanos”, “Gerenciamento de dados e ativos” e “Otimização na produção” para os fatores internos; e “Mercado e fatores geopolíticos” e “Regulamentações” para os fatores externos. Após a classificação, cada subcategoria foi desmembrada em objetivos específicos mencionados nas referências consultadas.

Os critérios adotados para a definição dos grupos e subgrupos de desafios de negócios são apresentados abaixo:

Grupo 1: Fatores internos

Desafios que não possuem interferência externa, ou seja, são majoritariamente dependentes das ações da própria empresa de E&P. Esses foram subdivididos em: Recursos Humanos; Gerenciamento de dados e ativos; e Otimização na exploração e produção.

- **Recursos Humanos:** desafio relacionado aos objetivos que envolvem diretamente os profissionais que trabalham no setor de E&P, do processo de contratação à aposentadoria, de forma a gerir e reter o conhecimento profissional e trabalhar para uma melhor qualidade de vida dos mesmos.
- **Gerenciamento de dados e ativos:** desafio relacionado aos objetivos que envolvem um melhor controle dos ativos do setor de E&P, bem como os serviços realizados para uma melhor e mais rápida manutenção desses a partir de um bom gerenciamento e integração de dados das instalações.
- **Otimização na exploração e produção:** desafio relacionado aos objetivos que envolvem uma melhoria no setor de E&P, visando uma maior eficiência causada por ações que reduzam custos operacionais e paradas, aumentam as taxas de produção, e uso de ativos que retornam uma maior eficácia.

¹⁶ A PLS Logistics Services é fornecedora de serviços de gerenciamento de transporte e corretagem para remetentes em todos os setores (LINKEDIN, 2020c). A empresa publicou sobre o que considera ser os três maiores desafios enfrentados pela Indústria de O&G (PLS LOGISTICS, 2020).

Grupo 2: Fatores externos

Desafios que possuem interferência externa, ou seja, ocorrem independentemente das ações das empresas de E&P. Esses foram subdivididos em: Mercado e fatores geopolíticos; e Regulamentações.

- **Mercado e fatores geopolíticos:** desafio relacionado aos objetivos que envolvem mudanças no mercado de petróleo que são afetadas por fatores geopolíticos, de forma a ter como objetivo aumentar o controle sobre as oscilações de preços que afetam diretamente a demanda de produção, e a confiança de investidores.
- **Regulamentações:** desafio relacionado aos objetivos que envolvem um atendimento às leis e protocolos de Saúde, Meio Ambiente e Segurança impostos por órgãos regulamentadores, de modo mais agilizado e otimizado sem prejudicar as operações.

Assim como na metodologia dos desafios técnicos, uma vez identificados os desafios de negócios, procurou-se as soluções implantadas de IA por empresas que possam atender aos objetivos específicos nos portais de pesquisa da Google, seguindo a metodologia de palavras-chave explicitada no Apêndice A.

Construiu-se uma tabela com o resumo dos desafios de negócios encontrados, seus respectivos objetivos específicos, as soluções de IA encontradas, bem como as respectivas empresas e parceiras responsáveis por essas soluções. Na tabela identificou-se, também o nível de progresso dessas soluções (definido no item IV.2.1): Solução customizada, Serviço ou Produto. Além disso, também foram identificados quais são os tipos de tecnologia de IA utilizados em cada solução, tais como *machine learning*, *deep learning*, entre outras. Quanto ao nível de atendimento aos desafios (definido no item IV.2.1), essa classificação não se mostrou necessária devido à alta especificidade das soluções encontradas que endereçam os objetivos específicos. Ao todo foram selecionadas e analisadas 20 soluções de IA que atendem aos desafios de negócios, e serão discutidas no capítulo VI.

V Os desafios da E&P

As empresas de petróleo e gás operam em alguns dos ambientes mais desafiadores do mundo, em diversos aspectos. Tecnicamente, as operadoras enfrentam desafios que necessitam viabilizar processos mais sustentáveis e seguros, ao mesmo tempo em que precisam aumentar tanto a probabilidade de encontrar petróleo quanto extraí-lo em taxas mais elevadas. Em paralelo, esse setor também deve lidar com a atual crise de recursos humanos, saber gerenciar a imensidão de ativos e dados que possui, bem como otimizar a produção em meio a preços voláteis influenciados por demandas flutuantes e conflitos geopolíticos, muitas vezes imprevisíveis. De forma mais detalhada, esses desafios serão abordados a seguir e divididos em aspectos técnicos e de negócios.

V.1 Desafios técnicos

O setor de E&P enfrenta numerosos desafios para atender à crescente demanda de energia, a necessidade de operações sustentáveis, a produção em declínio de reservatórios mais antigos e novos recursos em ambientes mais severos e mais distantes. Em vista disso, o comitê da SPE identificou cinco grandes desafios técnicos que essa indústria enfrenta (SPE, 2020a). Abaixo serão apresentados cada um deles: a obtenção de imagens de subsuperfícies de mais alta resolução, a reutilização da água produzida, a manipulação molecular *in situ*, o aumento da recuperação de hidrocarbonetos e por último a captação e fixação de dióxido de carbono produzido nos reservatórios.

V.1.1 Imagens de subsuperfície de alta resolução

O primeiro desafio se refere à obtenção de uma maior resolução de imagens de subsuperfície. Esse desafio tem como objetivo principal facilitar a visualização de depósitos de hidrocarbonetos ou monitoramento do movimento de fluidos no reservatório (NEAL *et al*, 2012). Um relatório feito pela empresa de consultoria Accenture (2018) aponta que existe uma precisão de apenas 60% das análises exploratórias e ainda um longo intervalo de 5 a 10 anos até que geocientistas garantam a produção em segurança do primeiro barril de petróleo, o que reforça a necessidade de avanços nessa área de exploração.

Além disso, a geração de imagens da estimulação de poços tornou-se também um tópico importante para novas pesquisas devido ao crescimento de recursos não convencionais. Por apresentarem maior dificuldade de extração de petróleo, esses recursos exigem grandes investimentos na estimulação para uma produção viável economicamente. Existe também uma necessidade de avanço nas tecnologias em imagens de reservatórios e fluidos de preenchimento de poros em uma mais alta resolução nos campos de produção, em condições operacionais.

Apesar de tecnologias 3D e 4D e dos desenvolvimentos tanto em computação quanto em nanotecnologia promoverem um grande potencial para solucionar tal desafio, avanços na obtenção de imagens mais precisas possuem uma barreira atrelada à complexidade de modelagem em nível quântico de fenômenos físicos que ocorrem nesses ambientes remotos (NEAL *et al*, 2012).

V.1.2 Reutilização da água produzida

O segundo desafio é relacionado à reutilização da água produzida nos processos de recuperação de hidrocarbonetos. Essa é uma questão importante visto que a água de produção é o maior fluxo de resíduos em volume associado à produção de petróleo e gás, gerando aproximadamente 21 bilhões de barris anualmente nos EUA por produções *onshore* e *offshore*. Esse recurso é considerado um subproduto da produção e é mais comumente tratado como resíduo para descarte, em vez de reutilização (HAGSTROM *et al*, 2016).

Regulamentações ambientais cada vez mais rigorosas requerem tratamento extensivo da água produzida antes de seu descarte ao meio ambiente. Segundo a American Geosciences (2018), a quantidade média produzida de água por poço nos EUA é de 10 barris de água para cada barril de petróleo produzido, o que gera também impacto econômico visto que o custo de tratamento pode ultrapassar US\$ 10 por barril, dependendo do mercado e nível de tratamento requerido (EPA, 2019). Consequentemente, para poços de produção localizados em regiões com escassez de água em conjunto com um alto custo de tratamento para descarga da água produzida, torna-se benéfico tanto ambiental quanto economicamente a reutilização da água produzida.

Como principais contaminantes da água de produção têm-se sólidos dissolvidos e suspensos, óleos e graxa, compostos orgânicos dissolvidos e voláteis, metais pesados, gases

dissolvidos, bactérias e aditivos químicos utilizados como inibidores de corrosão e desmulsificadores (SPE, 2020b).

V.1.3 Manipulação Molecular *In Situ*

O terceiro desafio é a possibilidade de implementar tecnologias no próprio poço capazes de tratar ou transformar o petróleo em produtos. Isso resultaria na economia de recursos, além da diminuição do impacto à saúde, segurança e meio ambiente. Para tal, é necessário entender a nível molecular o comportamento de substâncias, gases e microrganismos dentro dos reservatórios em condições severas de pressão e temperatura. Como exemplos de oportunidades citados no artigo publicado pela SPE (2020), há o tratamento *in situ* de materiais perigosos como H₂S e CO₂; a transformação de petróleo pesado em leve por microrganismos antes mesmo da chegada em refinarias e; mecanismos para geração de calor no próprio poço para diminuir a viscosidade do óleo extraído de forma a evitar perdas energéticas.

Modelagens e simulações desses processos precisam ser desenvolvidas em níveis mais precisos. Com isso, resultados experimentais não só precisam ser analisados como também simulados em modelos cinéticos e de escoamento que contenham todos os parâmetros físicos relevantes. Os trabalhos de modelagem e simulação integram teorias, experimentos e respostas em campo para tais processos, o que demanda relevante investimento em pesquisa e desenvolvimento (SPE, 2020c).

V.1.4 Aumento do fator de Recuperação de Hidrocarbonetos

A terceira fase de produção, denominada Recuperação Avançada de Petróleo (EOR – *Enhanced Oil Recovery*), para ser realizada de forma eficaz, necessita de amplo conhecimento da geologia, das propriedades estáticas e termodinâmicas, das interações rocha-fluido e do comportamento dinâmico do sistema hidrocarbônico da escala poro à escala reservatório. Tais conhecimentos precisam ser implementados na construção de um modelo computacional capaz de simular numericamente o processo de EOR e prever o comportamento de fluidos em um reservatório (SPE, 2020d).

Campos maduros representam mais de 70% da produção mundial de petróleo e gás. Seu potencial de recuperação é enorme, com 80% das reservas estimadas encontradas nas regiões do Oriente Médio e Norte da África, 43% na região Ásia-Pacífico e 24% na América Latina. Aumentar a recuperação de campos maduros envolve estender a vida útil do poço ou campo além da curva de declínio por meio de métodos de EOR. Para se ter uma noção desse impacto, um aumento de 1% na produção pode adicionar mais dois anos ao suprimento global de hidrocarbonetos e ajudar a atender às demandas futuras de energia (HALLIBURTON, 2020).

Consequentemente, a escolha do melhor método, seja por injeção térmica, química, gasosa ou microbiológica, poderia ser recomendado para aplicação em campo juntamente com as proporções e especificações adequadas. O artigo publicado no SPE indica que apesar do progresso na modelagem de sistemas rochosos, há a necessidade de melhorar técnicas de escalonamento para atender modelos cada vez mais complexos e robustos de processos EOR (SPE, 2020d).

V.1.5 Captação e Fixação de Carbono

O último desafio técnico citado pela SPE (2020) é sobre a captura e fixação de carbono (CCS – *Carbon Capture and Storage*) para reduzir emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. Segundo a Organização Europeia de Pesquisa Sintef, o CCS é uma tecnologia que pode capturar e transportar esse CO₂ e armazená-lo com segurança sob a superfície da Terra (SINTEF, 2019). Muitos começaram, portanto, a se referir à CCS como reciclagem de carbono, uma vez que o plano é retornar o CO₂ para onde veio, no subsolo, por exemplo, em antigos reservatórios estáveis de petróleo que podem ser selados na etapa de descomissionamento ou em reservatórios salinos para fins de armazenamento para posterior uso.

Existem diversas alternativas que já estão sendo implementadas nas empresas, tal como um método sustentável de EOR por meio do uso do CO₂ gerado para reinjeção nos próprios poços. No entanto, há desafios que impedem ainda a plena implantação de projetos CCS, como tornar economicamente viáveis as tecnologias para captura de CO₂ e dos demais gases produzidos de modo a reduzir o custo de construção, energia, compressão, operação e manutenção. Além disso, há o desafio que se refere ao armazenamento seguro, que deve incluir aspectos como contenção,

regulamentos, propriedade dos poros das formações geológicas e gerenciamento de pressão devidamente demonstrados em larga escala (SPE, 2020).

V.2 Desafios de negócios

O setor de E&P de petróleo enfrenta muitos obstáculos que atingem diretamente a saúde de seus negócios. Embora a expansão para novas geografias, como a perfuração em águas ultraprofundas, esteja abrindo novos caminhos para o crescimento da receita, ela também aumenta simultaneamente a complexidade e o risco das operações comerciais (INFINITI RESEARCH, 2019). Nesse contexto, o setor enfrenta desafios significativos que são causados tanto por fatores internos, inerentes à própria indústria, quanto externos, com pouco ou nenhum controle sobre os seus efeitos. Como fatores internos, foram selecionados a questão dos recursos humanos, que implica em consequências como a perda de talentos e má gestão do conhecimento; a complexidade em torno do gerenciamento de dados e ativos, causando falta de visibilidade nas operações e má gestão dos recursos e; o desafio de otimizar a produção, de modo a reduzir os custos e paradas recorrentes. Já como fatores externos, existe a imprevisibilidade do mercado de commodities atrelado a fatores geopolíticos difíceis de serem controlados e também o cumprimento de regulamentos ambientais cada vez mais severos, que embora tenham o objetivo de tornar as plataformas mais seguras e sustentáveis, diminuem o dinamismo necessário para suprir as demandas energéticas que já estão sendo tomadas por novos concorrentes de energias renováveis. Abaixo serão abordados cada um deles com mais detalhes.

V.2.1 Recursos Humanos

O setor de E&P enfrenta desafios relacionados a um dos seus maiores recursos, o capital humano. Por se tratar de um setor altamente complexo e com atividades de alta periculosidade, a captação de talentos da geração Z se torna cada vez mais difícil, visto que 62% dessa categoria considera os empregos dessa indústria desagradáveis (EY, 2019c). A escassez de talentos não é ajudada pela iminente aposentadoria dos trabalhadores mais experientes do setor, sendo estimado que até 50% dos trabalhadores qualificados poderão se aposentar da indústria de petróleo e gás nos próximos cinco a sete anos (MEDIUM, 2018). A saída desses profissionais se torna sinônimo de

perda de experiências e conhecimentos extremamente importantes para a execução de atividades mais técnicas e complexas, conforme citado pela EY (2019) e pela Lux Research (2019).

Para os profissionais já empregados, a indústria também enfrenta dificuldades de não só integrá-los, como retê-los (INFINITI RESEARCH, 2019), o que pode ser influenciado pelas condições de trabalho, tanto no aspecto de segurança quanto em progressão de carreira em comparação com outros setores. Isso faz com que funcionários qualificados se desloquem de empresa para empresa em busca das melhores ofertas e criem desafios para que as empresas mantenham seus funcionários existentes, e ao mesmo tempo, desenvolvam processos robustos de treinamento e integração para atualizar rapidamente os mais novos (MEDIUM, 2018). Sendo assim, não basta apenas aumentar os salários e benefícios em reação aos problemas de recrutamento e retenção. Como solução, o investimento pode ser focado na oferta de um ambiente que proporcione aprendizado, desenvolvimento e possibilidade a ascensão na carreira (ENZER, 2014).

V.2.2 Gerenciamento de dados e ativos

As empresas de petróleo e gás operam em alguns dos ambientes mais difíceis do mundo. Existem inúmeras variáveis que impactam nas operações *Upstream*, tais como preços voláteis de mercado, demanda flutuante, regimes regulatórios, projetos que envolvem vários fornecedores terceirizados e uma força de trabalho com níveis de educação e habilidades diversas. Para gerenciar riscos, controlar custos e otimizar o desempenho dos funcionários e ativos, as empresas de petróleo e gás precisam obter maior visibilidade de suas operações, de modo a ter um controle e visão estratégica sobre dados importantes para uma melhor e mais ágil tomada de decisão sobre as necessidades de mudança e atualizações que afetam toda a cadeia, do campo petrolífero à refinaria. Caso isso não aconteça, muitas vezes os resultados são interrupções de atividades e gastos excessivos causados por uma má gestão (MEDIUM, 2018; PLS LOGISTICS, 2020).

Com uma cadeia de suprimentos tão complexa, a falta de transparência é um dos principais problemas enfrentados nas operações e processos. Isso prejudica a colaboração com as prestadoras de serviços do campo petrolífero, afetando sobretudo uma boa comunicação que pode gerar efeitos indesejados (MEDIUM, 2018). Como exemplo disso, é possível citar a explosão na plataforma *Deepwater Horizon* em 2010 no Golfo do México, que gerou um prejuízo financeiro de US\$ 65

bilhões, 11 mortes e danos ambientais incalculáveis (REUTERS, 2018). Esse pode ser visto como um possível caso de dificuldade de alinhamento sobre os objetivos estratégicos, comerciais e técnicos entre a detentora do petróleo BP, a proprietária da plataforma Transocean, e uma das responsáveis pela proteção dos poços através da cimentação, Halliburton (INKPEN *et al*, 2011).

V.2.3 Otimização na produção

Para garantir a sustentabilidade, as empresas de petróleo e gás estão cada vez mais buscando aumentar a vida útil de locais maduros e são obrigadas a buscar novas fontes de petróleo ou gás para as quais a extração, transporte e refino são altamente complexos e dispendiosos. Para conseguir isso, eles também precisam atingir 100% de confiabilidade em suas plantas, o que inclui a redução de paradas não planejadas, maior produção e segurança de ativos industriais (QUANTZIG, 2018; INFINITI RESEARCH, 2019).

Comparado com outras indústrias, o setor de petróleo ainda enfrenta um retorno sobre o ativo (ROA) baixo, cerca de apenas 7,5% (EY, 2019). Como uma das possíveis razões, a empresa EY atribui à maior dependência por ativos tangíveis, como sondas e tubos, em relação aos intangíveis, tais como propriedades intelectuais. Sendo assim, as petrolíferas devem procurar aumentar esse indicador, ao produzir em maior quantidade, e ao mesmo tempo com maior eficiência para permanecer competitivo no mercado. A otimização dos sistemas de produção nos locais operacionais é, portanto, uma prioridade para as empresas de petróleo. Isso ajudaria a maximizar a eficiência da produção, reduzir os custos de extração, e assim, compensar os custos de exploração (INFINITI RESEARCH, 2019; PLS LOGISTICS, 2020).

V.2.4 Mercado e fatores geopolíticos

Existem fatores externos ao domínio das petrolíferas que causam grande impacto na estratégia e na tomada de decisão de investidores e, conseqüentemente, das operadoras. Como exemplos já citados, há a persistente volatilidade dos preços de commodities, a maior procura do mercado por fontes energéticas de baixo carbono e uma mudança global na oferta e demanda de petróleo causada por fatores geopolíticos imprevisíveis (LUX RESEARCH, 2019).

O mercado de petróleo bruto envolve muitos participantes com perfis diferentes, incluindo refinarias, especuladores financeiros, Bolsas de Mercadorias e Futuros (BM&F)¹⁷, empresas de transporte, IOCs, NOCs, independentes e a OPEP¹⁸ (INKPEN *et al*, 2011). Atualmente, as razões para a queda da atratividade da indústria para os mercados financeiros vão além dos preços baixos e voláteis do petróleo, tendo fatores agravantes como as relações desordenadas entre operadores e fornecedores até a mudança de prioridades no equilíbrio de capital e fluxo de caixa (DELOITTE, 2020c). Como uma das formas para atrair e garantir investimentos de longo prazo, as empresas devem mitigar os riscos associados ao desenvolvimento de projetos de O&G (DELOITTE, 2020b).

Nesse cenário, todas as empresas de petróleo e gás devem ter um profundo entendimento de como as tendências e eventos geopolíticos podem afetar os seus negócios. Como principais questões que abrangem esse tema, estão incluídas a questão da diplomacia e segurança, economia global, incerteza no mercado financeiro e de fornecedores, restrições de mercadorias e preços e flutuações nas taxas de câmbio. Quando as operadoras não conseguem prever tendências emergentes ou reagir a mudanças geopolíticas rápidas e imprevisíveis, os possíveis impactos no seu desempenho podem ser significativos (EY, 2020c).

V.2.5 Regulamentações

Encontrar novas reservas de petróleo e gás não depende apenas de tecnologia e custo da análise sísmica e da perfuração, mas também das leis, regulamentos, leilões e permissões exigidos pelas autoridades e mandatados por governos em todo o mundo. Os marcos regulatórios para o setor seguem toda a gama de preocupações da sociedade civil, incluindo saúde, segurança e meio ambiente. A regulamentação na maioria dos mercados é então ampliada para incluir preços, impostos e possivelmente redistribuição de recursos econômicos associados a todas as etapas da cadeia de valor de petróleo e gás. Os regulamentos são ditados pelos governos à medida que seguem

¹⁷ Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F) é um mercado organizado e regulado que facilita a compra e venda de contratos cujos valores estão atrelados ao preço das commodities (COMMODITY, 2020).

¹⁸ A Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), fundada em Bagdá em setembro de 1960, provou ser a organização não corporativa mais influente nos mercados de petróleo (INKPEN *et al*, 2011). Essa organização tem como objetivos garantir preços estáveis do petróleo; um fornecimento eficiente, econômico e regular de petróleo aos países consumidores; e retornos justos para os investidores (OPEC, 2003).

suas agendas políticas, econômicas e sociais (INKPEN *et al*, 2011).

Esses regulamentos desafiam a indústria a reformular seus métodos de produção, extração e distribuição para manter ou obter uma licença para operar. Há também o desafio de se garantir transparência na gestão ambiental de seus processos (QUANTZIG, 2018). A complexidade desses regulamentos aumenta em casos de unitização, onde um reservatório se estende por áreas de diferentes regimes fiscais e legais, e ocorre um Contrato de Partilha de Produção (CPP) em que mais de uma operadora se torna titular dos direitos de desenvolvimento e produção, bem como dos custos envolvidos. Nesses casos, a alta burocracia envolvida nesses processos tende a atrasar ainda mais a produção do primeiro petróleo (DELOITTE, 2020b).

Como mostrado ao longo deste capítulo, o setor de E&P enfrenta desafios diversos que prejudicam direta ou indiretamente o seu desempenho, tanto no aspecto técnico quanto de negócios. Para isso, a primeira parte do capítulo VI abordará o mapeamento e análise das iniciativas de inteligência artificial oferecidas e/ou adotadas pelos principais atores tanto do setor quanto desse tipo de tecnologia. Já na segunda parte, serão apontadas e discutidas as soluções de IA que podem atender à tais desafios, seja de forma alternativa, parcial ou total.

VI Resultados e Discussão

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos no presente trabalho, com base na metodologia apresentada no capítulo IV. A primeira seção explora como a inteligência artificial é aplicada na exploração e produção de petróleo, em termos dos ecossistemas e características das parcerias, havendo a compilação e análise da variedade e predominância de certas tecnologias digitais associadas à IA. Em seguida, serão discutidas as estratégias envolvidas nas colaborações realizadas, bem como de que forma uma solução de IA pode auxiliar ou solucionar um ou mais desafios técnicos ou de negócios, que foram detalhados no capítulo V. As descrições sobre as soluções de IA dos atores do Ecossistema da IA para E&P, e dos Desafios técnicos e de negócios estão incluídas respectivamente nos Apêndices B, C, D, E e F deste trabalho.

VI.1 Ecossistema da IA para E&P

Na primeira análise realizada, buscou-se compreender o perfil as empresas envolvidas no ecossistema de IA para E&P. Nesse sentido, foi construído o gráfico da figura VI.1, que apresenta os atores do ecossistema de acordo com a receita relativa ao ano de 2019.

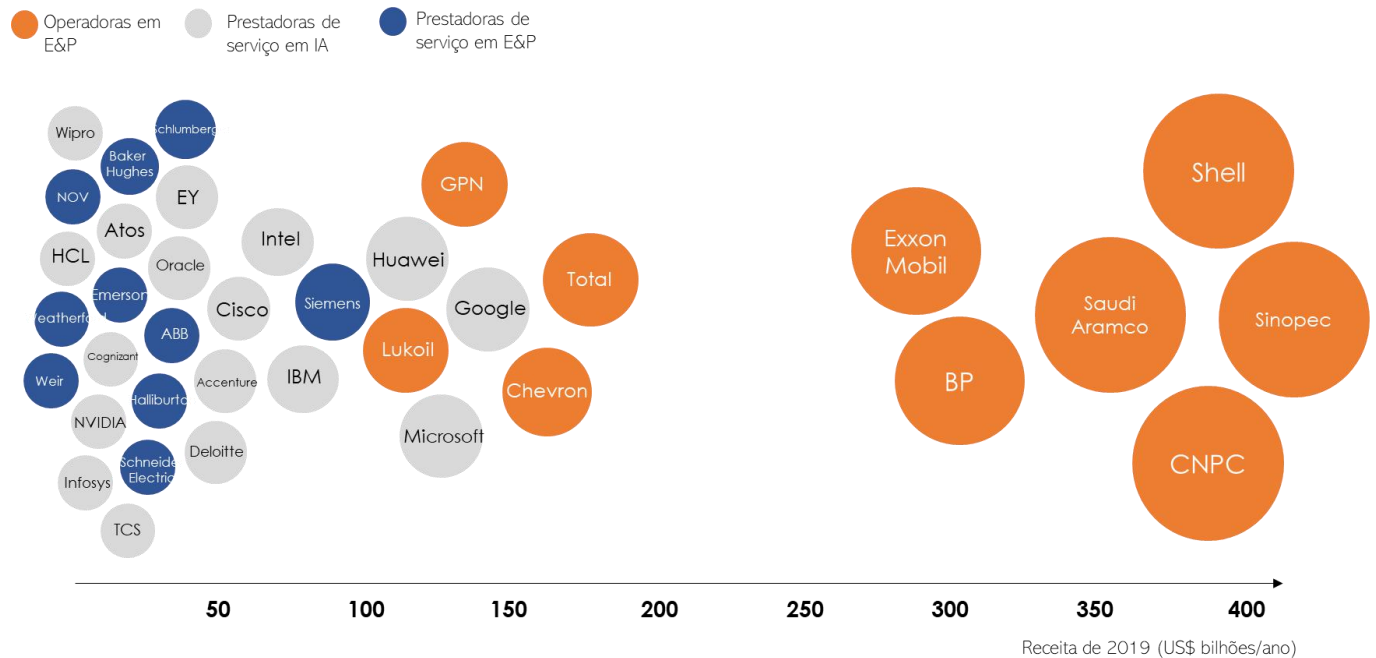


Figura VI.1: Atores versus Receita de 2019

A figura VI.1 mostra que, de modo geral as empresas do setor de E&P possuem uma receita anual significativamente superior às demais categorias, tendo o ranking liderado pela chinesa Sinopec, que além das atividades de E&P, fornece produtos químicos e derivados do petróleo. Dentre as empresas prestadoras de serviço em E&P, a Siemens lidera a lista, também possuindo um amplo portfólio em diversas indústrias. No que se refere às empresas Prestadoras de serviço em IA, a Google é a que possui maior receita anual, sendo uma empresa com atuação que vai muito além do setor de E&P. Desse modo, é possível perceber uma nítida diferença de perfil, em termos de receita, entre as operadoras e as demais categorias do ecossistema em análise. Essa diferença será interessante na análise do ecossistema pela perspectiva de cada categoria de atores.

A partir dos atores selecionados, foram realizadas análises com base nos seus programas/iniciativas de IA e nas parcerias envolvidas, avaliando-se separadamente as Operadoras em E&P, as Prestadoras de serviço em E&P e as Prestadoras de serviço em IA. No item VI.1.4 será discutida a análise geral dos três ecossistemas abordados, além da análise das tecnologias digitais mais mencionadas. Os programas de IA abordados neste capítulo estão detalhados nos Apêndices B, C e D.

VI.1.1 Análise pela perspectiva das Operadoras em E&P

De acordo com a pesquisa realizada, nota-se que os programas ou iniciativas de IA das operadoras em E&P, tanto NOCs quanto IOCs, abrangem uma gama bem diversa de aplicações, atuando como parceiras, proprietárias e/ou investidoras das mesmas. As tabelas VI.1, VI.2 e VI.3 a seguir mostram o panorama geral de tais programas, que são mais detalhados no Apêndice B.

Tabela VI.1: Programas de IA das Operadoras IOCs em E&P

Tipo de operadora	Operadora	Tecnologias associadas	Programa (s) de IA para E&P	Vínculo do programa	
IOC – International Oil Company	Lukoil	ML + BDA + CD	Digital ASTRA system	Proprietário	
	Shell	ML + CV + DL + VA + AV + RB + CB + NLP + ERP + CD	Shell.ai		
			Residency		
			Digital Innovation - Artificial Intelligence		
				The Shell Opportunity Hub	Parceiro
				SAP S/4HANA Cloud *	
	ExxonMobil	DA + BG + ML + NLP + CD	Fast Drill™ technology suite	Proprietário	
	Total	CV + NLP + ML + DL + CD	AI Applied to Exploration & Production **	Proprietário	
	Chevron	CB + VA + RPA + ML + NLP + ERP + SC + AC + HPC + IoT + CD	DELFI cognitive E&P environment ***	Parceiro	
			SAP S/4HANA Cloud *		
BP	CC + BC + RB + CB + VA + ML + NLP + ERP + CD	BP Digital Transformation	Proprietário e Investidor		
		SAP S/4HANA Cloud *	Parceiro		

Legenda:

ML: Machine Learning
 DL: Deep Learning
 BDA: Big Data Analytics
 CV: Computer Vision
 VA: Virtual assistants
 AV: Autonomous Vehicles
 CB: Chatbots
 RB: Robotics
 NLP: Natural Language Processing
 ERP: Enterprise Resource Planning
 HPC: High Performance Computing
 IoT: Internet of Things
 RPA: Robotic Process Automation
 SC: Security
 AC: Analytics
 CC: Cognitive Computing
 BC: Blockchain
 DA: Data Analytics
 BD: Big Data
 CD: Cloud

Proprietário: A operadora possui o seu próprio programa de IA, não explicitamente ligado à outra empresa.

Investidor: A operadora investe em startups de IA supostamente para agregar tecnicamente no seu próprio portfólio.

Parceiro: A operadora e outra empresa parceira se unem para promover uma solução ou iniciativa de IA aplicada à E&P.

* Programa conjunto com o player Accenture

** Não é o nome oficial do programa de IA para E&P, mas a descrição da solução

*** Programa conjunto com os players Schlumberger e Microsoft

Fonte: Elaboração própria.

Tabela VI.2: Descrição dos programas de IA adotados pelas IOCs

Programa (s) de IA para E&P	Objetivos e aplicações associados aos programas e parcerias em IA
Digital ASTRA system	Redução do tempo de inatividade e otimização da manutenção e operação de equipamentos caros, tornando a plataforma de petróleo mais inteligente (MEDIUM, 2019).
Shell.ai Residency	Incentivo a cientistas de dados a trabalharem em uma variedade de projetos de IA em todos os negócios da empresa (SHELL, 2020c).
Digital Innovation - Artificial Intelligence	Realização de inspeções de equipamentos de campo de petróleo e gás em ambientes desafiadores (SHELL, 2020b).
The Shell Opportunity Hub	Uso de aprendizado de máquina para alocar funcionários de acordo com as necessidades da empresa (CHECKR, 2019).
SAP S/4HANA Cloud	Obtenção da excelência operacional em diversas áreas como finanças, compras, gerenciamento de ativos, logística em campo e gerenciamento contábil de hidrocarbonetos (ACCENTURE, 2020b).
Fast Drill™ technology suite	Entendimento das características da formação e otimização automática dos parâmetros de perfuração, resultando em melhor desempenho de perfuração e segurança (SAFETY4SEA, 2017)
AI Applied to Exploration & Production	Caracterização de campos de petróleo e gás, implementação de manutenção preditiva de turbinas, bombas e compressores em suas instalações industriais para reduzir custos, previsão de perfil de produção, análise automatizada de imagens de satélite ou análise de imagens de amostras de rochas e análise de dados subterrâneos para exploração e produção de petróleo e gás (TOTAL, 2018).
DELFI cognitive E&P environment	Aumento da eficiência operacional e fornecimento de uma produção otimizada ao menor custo por barril de petróleo (SCHLUMBERGER, 2017).
BP Digital Transformation	Aceleração dos projetos em Upstream, desde a exploração até a modelagem do reservatório, visando uma redução de 90% no tempo na coleta, interpretação e simulação de dados (THE CHEMICAL ENGINEER, 2019); otimização da extração de reservas de hidrocarbonetos e aumentar a segurança de seus trabalhadores (MICROSOFT, 2019b).

Fonte: Elaboração própria.

Tabela VI.3: Programas de IA das Operadoras NOCs em E&P

Tipo de operadora	Operadora	Tecnologias associadas	Programa (s) de IA para E&P	Vínculo do programa	Objetivos e aplicações associados aos programas e parcerias em IA
NOC – National Oil Company	Saudi Aramco	AA+ ML+ BD + CD	4IR Center – AI Hub	Proprietário e Investidor	Implementação de soluções avançadas em aplicativos relacionados a hidrocarbonetos e visualização e previsão do desempenho dos ativos da empresa (OFFSHORE MAGAZINE, 2019).
	CNPC	KM+ NLP + ML + CD + IoT + BD + DL	Industrial Intelligent Twins *	Parceiro	Aumento da eficiência de exploração e desenvolvimento de petróleo e gás, redução de custos e ajuda na tomada de decisão para melhorar a eficiência e a eficácia do gerenciamento. Como uma das metas, espera-se que essa solução acelere a identificação de reservatórios de hidrocarbonetos em 70% (HUAWEI, 2019).
	Sinopec	ML+ PA + CD	Sinopec Sripe Drilling Automation Solution	Proprietário	Automação do processo de perfuração denominado e a prevenção e previsão de riscos e a otimização do processo de perfuração (DIGITAL TWIN, 2020).
	Gazprom Neft	AI + DA + CD	AI-Russia Alliance	Parceiro	Estabelecer uma aliança intersetorial para desenvolver inteligência artificial no país(GPN, 2019) de modo a aprimorar o processamento de informações geológicas (OFFSHORE TECHNOLOGY, 2019) e analisar um grande volume de dados geológicos e técnicos vindos de atividades como perfuração e conclusão de poços (GPN, 2017).

Legenda:

ML: Machine Learning
 DL: Deep Learning
 IoT: Internet of Things
 NLP: Natural Language Processing
 DA: Data Analytics
 BD: Big Data
 AA: Advanced Analytics
 KM: Knowledge Maps
 PA: Predictive Analytics
 AI: Artificial Intelligence
 CD: Cloud

Proprietário: A operadora possui o seu próprio programa de IA, não explicitamente ligado à outra empresa.

Investidor: A operadora investe em startups de IA supostamente para agregar tecnicamente no seu próprio portfólio.

Parceiro: A operadora e outra empresa parceira se unem para promover uma solução ou iniciativa de IA aplicada à E&P.

* Programa conjunto com o player Huawei

Fonte: Elaboração própria.

Pelos dados apresentados tanto nas tabelas VI.1, VI.2 e VI.3 quanto na figura VI.2 a seguir, é possível perceber que cada operadora tem um grande número de parceiros, que variam desde startups, como a Earth Science Analytics, com alto grau de especialidade em serviços de E&P até grandes empresas multinacionais já consolidadas no mercado, como a Microsoft. De todo o modo, a maior parte das operadoras se une a mais de uma prestadora de serviço em IA trazendo soluções customizadas que se alinham aos objetivos estratégicos dessas empresas petrolíferas. Assim, nota-se pela análise do ecossistema pela perspectiva das operadoras de E&P que as estratégias adotadas diferem quanto a aplicação de IA e pelo tipo de parceria envolvida.

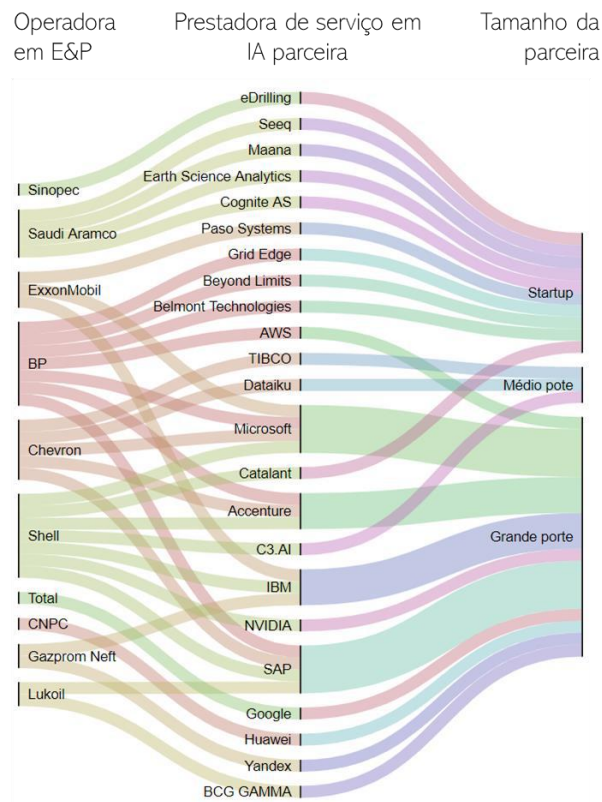


Figura VI.2: Empresas Operadoras em E&P e suas parcerias com as Prestadoras de serviço em IA.

Comparando-se as três empresas com maior número de parcerias nas iniciativas identificadas, percebe-se que apesar de convergirem nas parcerias tanto com a Microsoft quanto com a SAP e a Accenture, elas se diferenciam no restante da estratégia em IA. Por um lado, há a IOC BP e a NOC Saudi Aramco que investem em pequenas empresas especializadas em tecnologia de inteligência artificial, visando possivelmente não somente um retorno sobre o dinheiro investido como também alianças para projetos internos. Por outro lado, há a Shell que em tempos recentes

realizou mais investimentos nos seus próprios talentos no que concerne IA, propondo iniciativas voltadas tanto para a atração de experts em ciência de dados, por meio da *Shell.ai.Residency*, quanto para um melhor aproveitamento dos seus profissionais através da *The Shell Opportunity Hub*. Outra empresa que se difere pela estratégia em IA é a Chevron, que aposta em parcerias robustas com programas de IA de prestadoras de serviço de grande porte especializadas em E&P, como a Schlumberger, e em tecnologias digitais, como a SAP e a Accenture.

Nota-se que a Total já trabalhava com essa tecnologia desde os anos 90, tendo divulgado uma aliança com a Petrobras para uso de IA na identificação de falhas geológicas (TOTAL, 2018a; 2018b), o que pode ser o indício de que a empresa possua seu próprio time de desenvolvedores ou apenas mantenha sigilo sobre as suas alianças com as PSIAs. Já as NOCs chinesas mais rentáveis, Sinopec e CNPC, também se destacam pela presença de apenas uma parceria divulgada, mas ao contrário da Total, não foram encontradas informações de que essas já trabalhavam com IA há bastante tempo, divulgando as suas iniciativas apenas de 2019 em diante. Isso pode ser devido a maior porcentagem de controle estatal dentre as NOCs aqui listadas, tendo 76% para a Sinopec e 86% para CNPC, enquanto que, por exemplo, a Gazprom Neft tem apenas 38%, segundo Inkpen *et al* (2011). Com isso, é notado um nível mais avançado de soluções em IA implementadas pelas IOCs, visto que, de modo geral, atuam há mais tempo nesse ramo com um número maior de parcerias consolidadas.

Em termos de prestadoras de serviço em IA, a Microsoft e a SAP lideram com quatro operadoras parceiras das dez mais rentáveis, apesar da SAP não ser uma das mencionadas como principal ator de IA em E&P, segundo o relatório utilizado como base nesse estudo (APNEWS, 2020). Em seguida, aparecem a IBM e a Accenture, com três parcerias cada, e já são consideradas grandes atores, tanto em IA quanto IA para E&P (IDC, 2019; APNEWS, 2020). No caso da Accenture, que está acompanhada do *SAP S/4HANA*, essas parcerias com as petrolíferas se promoveram com o objetivo de amadurecer a tecnologia, ou seja, testar e validar a ponto de se tornar um produto ou serviço pronto para ser implementado (SAP, 2020).

VI.1.2 Análise pela perspectiva das Prestadoras de serviço em E&P

Ao realizar a análise do ecossistema pela perspectiva das empresas que prestam serviços em E&P, tanto das especialistas nesse setor quanto das que atuam em indústrias diversas, a

Siemens é a que mais se destaca por ser a mais rentável (Figura VI.1) e possuir o maior número de programas em IA para E&P dentre os demais atores dessa categoria, conforme mostram as tabelas VI.4 e VI.5.

Tabela VI.4: Programas de IA das PSEPs - Especialistas

Tipo de PSEP	PSEP	Tecnologias associadas	Programa (s) de IA para E&P	Objetivos e aplicações associados aos programas e parcerias em IA	Legenda:
Especialistas	Schlumberger	SC + AC + ML + HPC + IoT + CD	DELFI cognitive E&P environment *	Aumento da eficiência operacional e fornecer uma produção otimizada ao menor custo por barril de petróleo (SCHLUMBERGER, 2017).	ML: Machine Learning HPC: High Performance Computing IoT: Internet of Things SC: Security AC: Analytics BC: Blockchain CD: Cloud PA: Predictive Analytics AI: Artificial Intelligence DT: Digital Twin SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition
	Halliburton	CD + ML + PA + IoT	SmartDigital™ Co-innovation Service DecisionSpace® 365	Propõe soluções customizadas e colaborativas com os clientes do setor de E&P (LANDMARK, 2020). Otimização do processo de perfuração e a produção, reduzindo custos para clientes (LANDMARK, 2017).	
	Baker Hughes	CD + AI + PA + IoT	BHC3 AI Suite	Atendimento aos desafios de toda a cadeia de valor, desde a otimização de inventário e gerenciamento de energia até a manutenção preditiva e a confiabilidade do processo e do equipamento (BAKER, 2020b; BAKER, 2020c).	
	National Oilwell Varco	PA + DT + ML + CD	GoConnect Real-Time Data Analytics	Entrega em tempo real análises de dados de petróleo e gás para monitoramento de processos, análises preditivas e manutenção baseada nas condições do reservatório (NOV, 2020b).	
			KAIZEN Intelligent Drilling Optimizer	Avaliação contínua do desempenho da perfuração com base nas condições atuais do poço, comparando-o para compensar os dados do poço e reconhecendo as mudanças ambientais (NOV, 2020a).	
	Weatherford	ML + IoT + SCADA + AI + CD	Vero automated connection integrity system	Validação da integridade do poço de petróleo, desde a fabricação do tubo até a instalação, para melhorar a eficiência de composição da conexão tubular e minimizar os riscos à segurança (WORLD OIL, 2020).	
ForeSite® Edge			Uso de dados e modelagem contínuos no local do poço, para oferecer otimização contínua e autônoma da produção (WEATHERFORD, 2020a).		

Fonte: Elaboração própria.

Tabela VI.5: Programas de IA das PSEPs – Indústrias diversas

Tipo de PSEP	PSEP	Tecnologias associadas	Programa (s) de IA para E&P	Objetivos e aplicações associados aos programas e parcerias em IA	Legenda:
Indústrias diversas	Weir	*	*	*	ML: Machine Learning DL: Deep Learning IoT: Internet of Things SC: Security CD: Cloud PA: Predictive Analytics AI: Artificial Intelligence DT: Digital Twin SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition GPU: Graphics Processing Unit ANN: Artificial Neural Networks
	Emerson	ANN + DL + ML + GPU + CD	Emerson E&P software	Aumento do desempenho em todo o processo de E&P, incluindo a interpretação acelerada e caracterização de reservatórios por meio do uso de aprendizado de máquina (EMERSON, 2019a).	
	Schneider Electric	ML + PA + IoT + CD	Schneider Electric's Realift™	Fornecimento de um novo nível de recuperação de fluidos e também redução dos custos de produção de petróleo e gás em poços novos e existentes (MICROSOFT, 2017).	
	ABB	ML + DT + CD	ABB Ability™ - ABB Oil and Gas	Tomada de decisões melhores e mais rápidas para otimizar a operação da plataforma offshore com suporte operacional em terra a partir de dados em tempo real e de qualidade (ABB, 2020a; ABB, 2020b; ABB, 2020c).	
	Siemens	PA + AI + IoT + ML + DT + SCADA + CD	Integrated Solutions for Unconventional Challenges	Redução de emissões e ruídos associados ao fraturamento hidráulico, com um aplicativo baseado em IA para ajudar a evitar a falha de sistemas de elevação artificial em campos de petróleo e gás de baixa permeabilidade (SIEMENS, 2020b).	
Topsides 4.0			Fornecimento de análises de monitoramento remoto para manutenção planejada, e também para melhorar a segurança e reduzir custos de modo a possibilitar trabalho remoto da mão-de-obra em offshore (SIEMENS, 2020a).		
MindSphere Centre for AI digital solutions			Monitoramento remoto do desempenho de bombas submersíveis elétricas (BSEs) de modo a melhorar o suporte à decisão, para que os operadores de BSEs possam evitar interrupções na produção (HART ENERGY, 2018).		

* Não encontrado programa de IA para E&P

Fonte: Elaboração própria.

Além disso, a Siemens também é a PSEP que possui a maior predominância de parcerias com prestadoras de serviço em IA, sendo a única que possui alianças com startups, como mostra a figura VI.3. Por outro lado, não foi possível encontrar quaisquer programas de IA associados à Weir, que é a empresa que possui o menor faturamento anual dentre os todos atores aqui estudados (Figura VI.1).

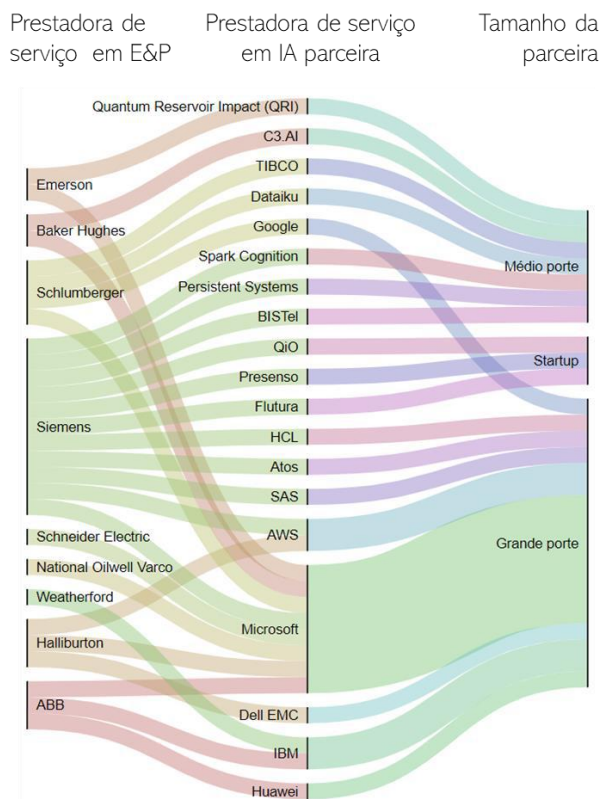


Figura VI.3: Empresas Prestadoras de serviço em E&P e suas parcerias com Prestadoras de serviço em IA.

Sobre as soluções ofertadas, existem diferentes abordagens de IA com benefícios bem diferenciados entre si. Há empresas que ofertam às operadoras máquinas inteligentes que usam manutenção preventiva, como é o caso da Schneider Electric com as suas bombas de elevação artificial, e da Siemens, com as suas bombas submersíveis elétricas, como mostrado na tabela VI.5 acima. Existem também aquelas que promovem suas habilidades em transformação digital através de uma parceria em conjunto com uma operadora, como é o caso da ABB com a petrolífera norueguesa OKEA (ABB, 2020a). Já o diferencial da Halliburton é a oferta de projetos de P&D em tecnologias de IA onde os próprios clientes colaboram nas soluções, tornando-as mais

customizadas (LANDMARK, 2020). E há ainda a Weatherford, que oferece um tipo de conexão tubular inteligente, trazendo maior segurança aos poços e plataformas (WORLD OIL, 2020).

Outro aspecto que chama atenção nos programas estudados se refere aos acordos estabelecidos com as petrolíferas. A Emerson é uma prestadora que se destaca pelos contratos duradouros da sua iniciativa *Emerson E&P Software* com grandes clientes em E&P, tais como a Repsol, Total e BP (EMERSON, 2019c; EMERSON, 2018; OFFSHORE MAGAZINE, 2019). Além dela, a Schlumberger oferece também soluções customizadas em IA, havendo fechado uma parceria de 7 anos com a petrolífera Woodside, a qual irá inclusive adicionar a sua propriedade intelectual na solução (WORLD OIL, 2019a).

Assim como as operadoras, as prestadoras de serviços em E&P também dependem de parcerias com empresas especializadas em tecnologias de inteligência artificial, como observado na figura VI.3. E com exceção da Weir, todas as prestadoras de serviços em E&P possuem ao menos uma parceria com uma PSIA de grande porte, sendo a Microsoft a mais interligada. A Baker Hughes, por exemplo, fechou uma parceria que integra todo o ambiente de nuvem da Microsoft à expertise de IA em E&P da C3.ai (BAKER, 2020b). Já a NOV contratou os serviços da Microsoft e da PowerObjects a fim de tomar decisões orientadas por dados para melhorar as suas próprias ofertas aos clientes do setor de petróleo (POWER OBJECTS, 2020).

VI.1.3 Análise pela perspectiva das Prestadoras de serviço em IA

Na análise do ecossistema pela perspectiva das empresas que prestam serviços em IA, conforme exposto nas tabelas VI.6, VI.7 e VI.8, verificou-se que a maior parte dessas prestadoras deixa de forma mais explícita os benefícios da IA para esse setor, reservando uma seção única de IA voltada esses clientes em seus websites. Porém, uma parte é apresentada como um produto ou serviço de IA que pode ser aplicável a diversas indústrias, associando à E&P por meio de estudos de caso ou *press releases*, como é o caso da TCS, Atos e Google. De qualquer modo, os programas possuem abordagens e diferenciais atrativos para o setor, desde aplicações específicas e customizáveis da IBM até as mais amplas, como é o caso da *Agile Digital Services Architecture* da Infosys.

Tabela VI.6: Programas de IA para E&P das PSIA's Referências em IA

Tipo de PSIA	PSIA	Tecnologias associadas	Programa (s) de IA para E&P	Objetivos e aplicações associados aos programas e parcerias em IA
Referências em IA	Cognizant	PA + SCADA, ERP + IoT + CD	Cognizant AI Operations Intelligence - Oil and Gas	Otimização dos esforços de produção e recuperação de reservas, a redução dos riscos para o pessoal offshore, a melhora no desempenho em saúde e segurança ambiental, o aumento na confiabilidade e a eficiência da produção de equipamentos e plantas com o monitoramento do processo e a promoção da colaboração em toda a organização (COGNIZANT, 2020).
	TCS	ML + AC + BD + IoT + DL + CD	Machine-First Delivery Model (MFDM)	Redução do risco operacional, melhora na velocidade de colocação no mercado, aumento na produtividade e agregação de valor aos negócios de diferentes segmentos (NS ENERGY BUSINESS, 2019).
	EY	ML + AC + BD + CD	Applying AI in Oil and Gas: Intelligent Asset Management (IAM)	Ajuda na redução de custos e no tempo de inatividade, aumento na produção, na eficiência e na utilização de ativos (EY, 2020b).
	Deloitte	BC + RPA + IoT + AC + CC + AR + CD	Digital Oil, Gas & Chemicals	Aumento na produção e nas reservas dos brownfields usando dados históricos de produção, modelagem matemática inovadora e computação de alto desempenho (DELOITTE, 2017b).
	HCL	IoT + AI + ML + CD	Digital Transformation for Oil and Gas	Permite a segurança de trabalhadores ocupacionais e a manutenção preventiva, de modo que o cliente O&G responda proativamente a problemas em campo (HCL, 2020b; POWER OBJECTS, 2020).
	Wipro	ANN + NLP + CC + CD	Wipro HOLMES™ E&P Report Digitization	Previsão de eventos em operações upstream, reduzindo assim o custo unitário global da extração de hidrocarbonetos, o que ajuda geocientistas, engenheiros e analistas a otimizar a extração de hidrocarbonetos (WIPRO, 2020).
Atos	ML + DL + IoT + CD	Codex AI Suite	Melhora na eficiência e previsão de falhas no poço, transparência das causas básicas da falha (ATOS, 2019).	

Legenda:

Fonte: Elaboração própria.

Tabela VI.7: Programas de IA para E&P das PSIA's Referências em E&P e IA

Tipo de PSIA	PSIA	Tecnologias associadas	Programa (s) de IA para E&P	Objetivos e aplicações associados aos programas e parcerias em IA
Referências em E&P e IA	IBM	NLP + VR + ML + IoT + DL + PA + AI + CD	AI for Upstream	Aceleração da interpretação sísmica, determinação rápida das avaliações de prospecção de possíveis novas reservas de petróleo e locais de perfuração poços de petróleo e gás, transferência de conhecimentos para novos funcionários (IBM, 2020d; GALP, 2018), aumento da tomada de decisão estratégica na otimização da produção de reservatórios de petróleo e na aquisição de novos campos de petróleo (IBM, 2014), a melhora na qualidade de processamento de informação geológica (GAZPROM NEFT, 2019), a extração de informações significativas de muitos anos de dados de engenharia (IBM, 2020d) e redução do tempo para análise de informações de incidentes de segurança (WOODSIDE, 2020).
			Cognitive HR for Energy	Auxílio às empresas do setor de energia, incluindo O&G, a gerenciar proativamente os seus talentos (IBM, 2020f).
	Accenture	CB + VA + RPA + ML + NLP + ERP + CD	SAP S/4HANA Cloud solution *	Obtenção da excelência operacional em diversas áreas como finanças, compras, gerenciamento de ativos, logística em campo e gerenciamento contábil de hidrocarbonetos (ACCENTURE, 2020b).
Infosys	BD + ML + BC + PA + AR + CS + CB + CD	Agile Digital Services Architecture: Oil and Gas	Acelera a descoberta de hidrocarbonetos e otimiza as operações de perfuração em andamento (INFOSYS, 2020a).	

Legenda:

ML: Machine Learning
 DL: Deep Learning
 IoT: Internet of Things
 CS: CyberSecurity
 CD: Cloud
 PA: Predictive Analytics
 AI: Artificial Intelligence
 BD: Big Data
 BC: Blockchain
 RPA: Robotic Process Automation
 AR: Augmented Reality
 VA: Virtual assistants
 CB: Chatbots
 NLP: Natural Language Processing
 ERP: Enterprise Resource Planning
 IoT: Internet of Things
 VR: Visual Recognition

* Programa conjunto com o player Chevron

Fonte: Elaboração própria.

Tabela VI.8: Programas de IA para E&P das PSIA Referências em E&P

Tipo de PSIA	PSIA	Tecnologias associadas	Programa (s) de IA para E&P	Objetivos e aplicações associados aos programas e parcerias em IA
Referências em E&P	Google	IoT + ML + PA + HPC + SC + CV + NLP + PM + CD	Google Cloud machine learning - Energy Solutions	Otimização de operações, com visualizações, aprendizado de máquina, automação e manutenção preventiva (IOT SOLUTIONS WORLD CONGRESS, 2018). *
	Microsoft	ML + IoT +, SCADA + DL CV + NLP + CD	Azure's AI - Oil and gas solutions	Visualização de simulações de reservatório de modo a aumentar as taxas de acerto de perfuração, melhorar a tomada de decisões e a produção de reservatório, e ainda gerenciar e estender os ciclos de vida dos ativos (MICROSOFT, 2020).
	Oracle	ML + AI + BDA + CD	Artificial Intelligence Solutions + Oracle in the Exploration and Production Sector	Otimização das operações de caracterização, perfuração e produção de reservatórios com uma solução de operações integrada que aprimora a captura de dados, fornece informações através da análise de dados e permite melhores decisões operacionais, táticas e estratégicas (ORACLE, 2020c).
	Cisco	DA + SCADA + IoT + CS + CD	Cisco Kinetic for Oil and Gas	Maximização do valor comercial dos dados de IoT, aumento da produtividade, segurança, automação e manutenção preditiva dos clientes (CISCO, 2020).
			Oil & Gas Advanced Technology Center	Visualização, treinamento e simulação de processos reais de transporte, distribuição e armazenamento de hidrocarbonetos em um ambiente controlado (CISCO, 2020).
	Intel	ML + PM + DL + VA + DLA + BA + CD	Intel® AI - Energy	Aumento da eficiência e segurança com IA (INTEL, 2020).
	Huawei	KM+ NLP + ML + CD + IoT + BD + DL	Industrial Intelligent Twins **	Aumento da eficiência de exploração e desenvolvimento de petróleo e gás, redução de custos e ajuda na tomada de decisão para melhorar a eficiência e a eficácia do gerenciamento. Como uma das metas, espera-se que essa solução acelere a identificação de reservatórios de hidrocarbonetos em 70% (HUAWEI, 2019).
NVIDIA	DL + GPU + BD + CD	AI / Deep Learning + Energy - Exploration and Production	Com a GPU oferecida pela NVIDIA, é possível aplicar Deep learning para aumentar a precisão da detecção de anomalias, aumentar a velocidade da exploração interativa de grandes conjuntos de dados e diminuir o OPEX em todo o fluxo, proteger os profissionais e o meio ambiente (NVIDIA, 2018a; NVIDIA, 2020b).	

Legenda:

ML: Machine Learning
 DL: Deep Learning
 IoT: Internet of Things
 SC : Security
 CD: Cloud
 PA: Predictive Analytics
 AI: Artificial Intelligence
 SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition
 GPU: Graphics Processing Unit
 BD: Big Data
 PM: Predictive Maintenance
 VA: Vision Analytics
 DLA: Data Labeling
 BA: Big analytics
 HPC: High Performance Computing
 NLP: Natural Language Processing
 CV: Computer Vision
 BDA: Big Data Analytics
 DA: Data Analytics
 CS : CyberSecurity
 KM: Knowledge Maps

* Em 2020, a empresa de tecnologia prometeu não criar mais algoritmos de inteligência artificial customizados para empresas do setor de E&P extraírem petróleo (TELEGRAPH, 2020).

** Programa conjunto com o player CNPC

Fonte: Elaboração própria.

Apesar de, no geral, as soluções terem um foco maior na otimização de processos para uma melhor tomada de decisão, há diferenciais que se destacam entre elas. Como exemplos disso, a atenção às reservas *brownfield*¹⁹ pela Deloitte, a segurança dos trabalhadores pela HCL e IBM, a integração e gerenciamento dos ativos a nível contábil pela Accenture e SAP e também a oferta de GPUs para processamento de dados mais pesados da NVIDIA.

Além disso, como evidenciado nas análises anteriores sob a perspectiva das Operadoras e das Prestadoras de serviço em E&P, a Microsoft se mostra um ator bastante relevante para esse setor em aplicações de IA devido ao maior número de parcerias encontradas. Como exposto na figura VI.4, outro ator que se destaca nesse aspecto é a IBM, que conta com nove parcerias

¹⁹ *Brownfields*: campos petrolíferos convencionais com mais de sete anos de histórico operacional (DELOITTE, 2017b).

divulgadas e um vasto portfólio de soluções customizadas no setor de petróleo. Por outro lado, apesar da Oracle ser uma das referências em IA para E&P e oferecer serviços com essa finalidade, não foi possível encontrar parcerias deste ramo com a mesma. Sob a perspectiva das referências em IA, a HCL se destaca por possuir parcerias com duas grandes prestadoras de serviço em E&P, a Siemens e a NOV, no entanto, não foi encontrada qualquer aliança da EY com especialidades neste ramo.

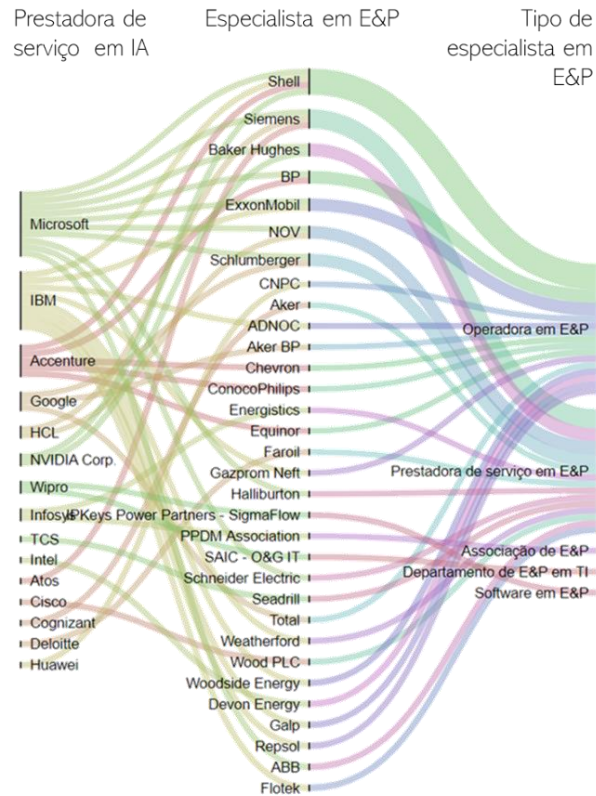


Figura VI.4: Empresas Prestadoras de serviço em IA e suas parcerias com especialistas em E&P.

Em termos de estratégia para a obtenção de expertise nas áreas do setor petrolífero, a maior parte das empresas de TI procura investir nas parcerias com operadoras ou até prestadoras de serviços em E&P. No entanto, há também aquelas que investem em parcerias com empresas especializadas em gerenciamento de dados no setor de petróleo, como é o caso da Intel, ou até adquirem uma unidade global de tecnologia da informação em petróleo e gás, como fez a Wipro em 2011 (DOMAIN, 2011).

No entanto, em direção oposta a todos os atores de IA aqui mencionados, a Google, apesar de ter firmado parcerias robustas com grandes petrolíferas e prestadoras em E&P, decidiu em 2020 abandonar as soluções de IA customizadas para o setor. Isso pode ter sido incentivado tanto pelo relatório do Greenpeace intitulado “Como as empresas de tecnologia estão ajudando os grandes lucros do petróleo com a destruição do clima” (GREENPEACE, 2020), quanto pela onda de protestos de funcionários, não só da própria Google, como da Amazon e Microsoft, alegando-se que essas parcerias estavam acelerando as emissões de gases de efeito estufa a partir das empresas de petróleo (USATODAY, 2019). Essa saída da Google traz à tona uma das maiores discussões acerca do papel da indústria de petróleo e gás no meio ambiente, mas pode-se perceber que a tecnologia pode ajudar a mitigar muitos dos impactos ambientais causados por essa indústria, como será mencionado no item VI.2 deste capítulo, sobre os desafios enfrentados pelo setor de E&P.

VI.1.4 Análise geral dos Ecossistemas de todos os atores envolvidos

De modo geral, nota-se que o ecossistema da IA aplicada ao setor de E&P é composto pelas operadoras em E&P, que são as detentoras do grande volume de dados gerados, e pelas prestadoras de serviço responsáveis pela implementação da tecnologia, que possuem especialidades na própria IA (PSIA) ou no setor de E&P (PSEP), convergindo diretamente com o ecossistema apontado pela consultora BCG (2017) no item III.5 do terceiro capítulo.

As PSIAs, que podem ser de pequeno à grande porte, dependem da nuvem para ter um espaço e ferramentas capazes de construir e testar algoritmos. Nesse ponto, a IBM se destaca por atribuir os seus serviços de IA em qualquer nuvem, além da sua própria plataforma de nuvem *IBM Cloud*, promovendo uma maior flexibilidade para os seus parceiros. Já as PSEPs são aquelas que trabalham diretamente nas plataformas para prestar suporte às operadoras, e além do conhecimento técnico em E&P, passaram a oferecer também serviços de IA graças às parcerias com as PSIAs, tornando os seus produtos e serviços ainda mais atrativos para os seus clientes. Como exemplo disso, há a Baker Hughes, que lançou seu programa *BHC3 AI Suite* graças à grande expertise em IA da C3.ai alinhada à plataforma de nuvem da Microsoft.

Existem também as operadoras em E&P que buscam uma maior independência tecnológica para se tornarem mais competitivas no mercado. Esse é o caso da Shell, com o seu grande investimento em mão de obra especializada em IA, através do *Shell.ai.Residency*; e também a ExxonMobil, que já criou e licenciou o seu próprio software de IA, o *Drilling Advisory System*.

A figura VI.5 mostra a predominância das tecnologias associadas aos programas de IA das iniciativas identificadas no ecossistema de IA para E&P, ressaltando que todas as soluções são hospedadas na nuvem. Já como modalidades dessa tecnologia, 73% dos programas oferecem os algoritmos de ML, em seguida dos seus derivados *predictive analytics*, *deep learning* e *data analytics*. Outros tipos de tecnologia IA também são citadas, tais como a NLP e as suas interfaces computacionais associadas: assistentes virtuais e *chatbots*. Como complementares à IA, há também as tecnologias como o IoT, *big data*, *blockchain*²⁰ e *digital twin*, que integram toda a cadeia da transformação digital. Além disso, tecnologias focadas em controle e processamento de dados, como a *SCADA* e sistemas HPC também estão entre as mais mencionadas.

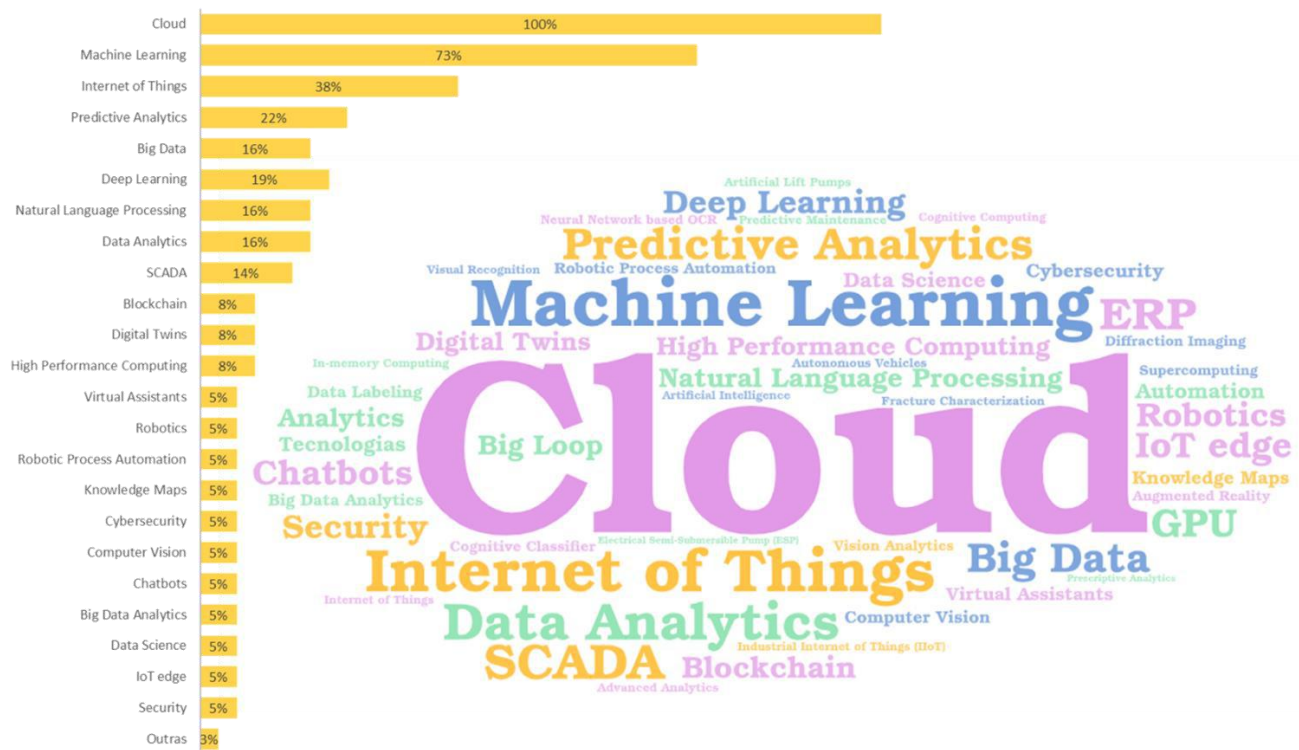


Figura VI.5: Tecnologias utilizadas nos programas de IA para E&P versus Predominância

²⁰ *Blockchain* é uma tecnologia de banco de dados que permite a transação segura de informações sem controle por uma autoridade central. O uso do *blockchain* para compartilhar acesso seguro a essas transações elimina a necessidade de auditorias e provedores de serviços de pagamento, bem como reduz o risco de pagamentos excessivos (ACCENTURE, 2018a).

Ao comparar a figura VI.5 com a figura III.1 do capítulo 3 sobre a frequência e interdependência entre as tecnologias digitais, pode-se validar a grande influência da IA nessa Era digital. Sobre o progresso da IA em E&P indicado na figura III.8, é possível validar a aplicação dessa tecnologia tanto para atividades da exploração, como a modelagem de reservatório pela BP (figura VI.2) e interpretação sísmica pela IBM e Galp (figura VI.7), quanto para a produção, evidenciado pela *Midsphere* da Siemens, que se relaciona com o aumento da eficiência do bombeamento artificial das BSEs. No entanto, ao contrário do que constatado pela consultora Lek (2019), existe uma solução de IA amadurecida, a *Vero* oferecida pela prestadora Weatherford, para as atividades de tubulação dos poços, (figura VI.4).

VI.2 Desafios técnicos e de negócios

Após o entendimento da configuração do ecossistema da inteligência artificial aplicada à E&P, foram buscadas quais soluções disponíveis no mercado com uso da IA poderiam solucionar de forma parcial, alternativa ou até mesmo total os desafios técnicos e de negócios abordados anteriormente no capítulo V. A seguir, serão analisadas essas soluções identificadas, descritas em detalhes nos Apêndices E e F para cada um dos desafios, levando-se em consideração o nível de progresso e qual o perfil das empresas que as oferecem.

VI.2.1 Análise das soluções em IA nos desafios técnicos

Os desafios técnicos, abordados no item V.1 do capítulo V e levantados conforme a metodologia indicada no item IV.2.1 do capítulo IV, levam em consideração diferentes áreas e aspectos do setor de E&P. Conforme explicitado na tabela VI.9, os desafios englobam desde questões relacionadas a uma melhor resolução de imagens de subsuperfície, que é atrelada à exploração, até os impactos ambientais e econômicos causados pela água e dióxido de carbono produzidos no poço, que precisam de uma destinação mais sustentável. Para se entender o papel da tecnologia de IA neste setor, foram mapeadas soluções de IA que de alguma forma poderiam auxiliar ou até mesmo solucionar por completo os desafios levantados.

Tabela VI.9: Desafios técnicos e seus objetivos gerais

#	DESAFIOS	OBJETIVOS GERAIS
1	Imagens de subsuperfície de alta resolução	Melhorar a exploração de hidrocarbonetos em reservatórios.
2	Reutilização da água produzida	Diminuir alto custo do tratamento e potencial toxicidade crônica da água produzida tratada, assim como melhorar a aceitação do público quanto ao reuso da água.
3	Manipulação Molecular In Situ	Modificar o conteúdo do reservatório em sua fonte, para que seus efeitos adversos sejam reduzidos ou eliminados e o reservatório possa ser produzido com eficiência.
4	Aumento do fator de Recuperação de Hidrocarbonetos	Maximizar a recuperação de hidrocarbonetos, minimizando os custos operacionais e o impacto ambiental.
5	Captação e Fixação de Carbono	Captura e transporte econômicos de CO ₂ industrial, acesso claro ao espaço poroso para armazenamento de CO ₂ em formações geológicas, metodologias comprovadas para demonstrar a integridade do armazenamento.

Fonte: Elaboração própria.

Sobre as soluções de IA para o primeiro desafio que visa a obtenção de imagens de subsuperfície de alta resolução, foram encontradas apenas soluções alternativas, visto que apesar da tecnologia não contribuir para o aumento da resolução da imagem, ela contribui para uma melhor capacidade de interpretação das imagens já existentes. No caso da reutilização de água, foram encontradas em sua totalidade soluções de IA que contribuem diretamente para esse desafio, de forma a melhorar a seleção de métodos para tratamento do efluente produzido, o que pode ser atribuído à alta especificidade das empresas para esse ramo. E por fim, tanto as soluções de IA para manipulação molecular *in situ* quanto para a captura e fixação de CO₂, contribuem apenas de forma parcial para o desafio, visto que estas se aplicam para a simulação dos reservatórios e dos parâmetros envolvidos no sequestro de CO₂, respectivamente. Já para o aumento do fator de recuperação, encontrou-se uma variação quanto ao tipo de solução, com duas soluções completas e uma parcial. A tabela VI.10 a seguir mostra o resumo dos objetivos que cada soluções de IA se propõe.

Tabela VI.10: Descrição das possíveis soluções adotadas para os desafios técnicos

# DESAFIO	EMPRESAS	SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO DOS OBJETIVOS
1	ExxonMobil e MIT	<i>AI Robots</i>	Explorar áreas subterrâneas a fim de se encontrar petróleo (EMERJ, 2019).
1	IBM e GALP	<i>Seismic Interpretation Advisor</i>	Ajudar os geocientistas a examinar grandes conjuntos de dados sísmicos 3D(GALP, 2018).
1	IBM e GazpromNeft	<i>Cognitive Geologist</i>	Identificar, modelar, integrar e prever informações críticas de objetos geológicos, usando dados de análogos já descobertos (WORLD OIL, 2019b).
2	Acciona Agua, LIKUID, APLICAT, Innotek21, BWA, REP, URV, 2.-0 LCA Consultants, EDS e TÜPRAŞ	<i>Integroil</i>	Sugerir o melhor método de tratamento de água de produção para diferentes finalidades (INTEGROIL, 2020).
2	PlutoShift	<i>Grounded AI</i>	Recomendar um tratamento de água de fraturamento hidráulico que cumpra critérios de qualidade mais eficientes para fins de reuso (PLUTOSHIFT, 2020b).
2	IntelliFlux Controls Inc.	<i>IntelliFlux Control Software</i>	Otimizar os sistemas de tratamento por membrana para águas residuais de produção de acordo com as normas exigidas para diferentes finalidades (WATER TECH ONLINE, 2017).
3	Intelligent Solutions Inc	<i>Top-Down, Intelligent Reservoir Models™</i>	Complemento aos modelos de simulação de reservatório existentes para fornecer uma análise independente ou como uma alternativa à simulação convencional(INTELLIGENT SOLUTIONS, 2020).
3	Saudi Aramco	<i>"An Artificial Intelligence Approach to Predict Molar Compositions of Reservoir Fluid Components"</i>	Prever composições molares de componentes de fluidos de reservatórios (ALMATOUQ et al, 2019).
4	IBM	<i>"Artificial Intelligence-Based Screening of Enhanced Oil Recovery Materials for Reservoir-Specific Applications"</i>	Recomendar possíveis candidatos para o aumento do fator de recuperação (GIRO et al, 2019).
4	BP e Microsoft	<i>Azure Machine Learning</i>	Identificar modelos de previsão do fator de recuperação (MICROSOFT, 2019b).
4	NISOC	<i>"Efficient Screening of Enhanced Oil Recovery Methods and Predictive Economic Analysis."</i>	Selecionar métodos EOR adequados e classificá-los (NIKOOKAR et al, 2014).
3;5	Halliburton	<i>"Application of Machine Learning and Artificial Intelligence in Proxy Modeling for Fluid Flow in Porous Media"</i>	Avaliar os parâmetros dinâmicos do reservatório (pressão, saturação e fração molar de CO ₂) em vários cenários de injeção de CO ₂ (AMINI et al, 2019).

Fonte: Elaboração própria.

As empresas que estão por trás das soluções de IA para os desafios de E&P levantados variam em muitos aspectos, tais como tamanho, setor e até o número de parcerias, como mostra a tabela VI.11 a seguir. Em termos de tamanho, observa-se que há desde startups, como a PlutoShift, até empresas de grande porte, como a IBM e a ExxonMobil. Pelo setor, existem empresas de TI, operadoras em E&P, consultoras e universidades, muitas vezes, em parcerias umas com a outras, variando de zero à dez parceiros para a mesma solução. Dentre os diversos tipos de tecnologia IA que são aplicadas no mercado, as mais citadas são ML e seus derivados DL e ANN, o que é

condizente com a predominância encontrada na análise dos ecossistemas presente no item VI.1.4 deste capítulo. De modo geral, foi observado que embora exista um investimento para que a IA seja aplicada a fim de solucionar os desafios, tais abordagens não estão ainda plenamente validadas pelo setor. Isso é explicado pela maior parte das iniciativas estarem ainda em fase de P&D e também por não haver quaisquer estudos de caso divulgados por operadoras em E&P sobre os serviços ou produtos levantados neste estudo.

Tabela VI.11 Classificação das soluções de IA encontradas para os desafios técnicos

DESAFIOS	EMPRESAS	SOLUÇÕES	IA	PROGRESSO	TIPO DE SOLUÇÃO
Imagens de subsuperfície de alta resolução	ExxonMobil e MIT	<i>AI Robots</i>	R+AI	P&D	ALTERNATIVA
	IBM e GALP	<i>Seismic Interpretation Advisor</i>	ML		
	IBM e Gazprom Neft	<i>Cognitive Geologist</i>	ML + Big data		
Reutilização da água produzida	Acciona Agua, LIKUID, APLICAT, Innotek21, BWA, REP, URV, 2.-0 LCA Consultants, EDS e TÜPRAŞ	<i>Integroil</i>	ML	SP	COMPLETA
	PlutoShift	<i>Grounded AI</i>	DL		
	IntelliFlux Controls Inc.	<i>IntelliFlux Control Software</i>	ML		
Manipulação Molecular <i>In Situ</i>	Intelligent Solutions Inc	<i>Top-Down, Intelligent Reservoir Models™</i> *	DM + AI	P&D	PARCIAL
	Saudi Aramco	<i>"An Artificial Intelligence Approach to Predict Molar Compositions of Reservoir Fluid Components"</i>	ANN		
Aumento do fator de Recuperação de Hidrocarbonetos	IBM	<i>"Artificial Intelligence-Based Screening of Enhanced Oil Recovery Materials for Reservoir-Specific Applications"</i>	ML	SC	COMPLETA
	National Iranian South Oil Company	<i>"Efficient Screening of Enhanced Oil Recovery Methods and Predictive Economic Analysis."</i>	ML		
	BP e Microsoft	<i>Azure Machine Learning</i>	ANN		
Captação e Fixação CO ₂	Halliburton	<i>"Application of Machine Learning and Artificial Intelligence in Proxy Modeling for Fluid Flow in Porous Media"</i> **	ML	P&D	PARCIAL

Legenda:

ANN: Artificial Neural Networks
 ML: Machine Learning
 DL: Deep Learning
 R + AI: Robotics e Artificial Intelligent

SC: Solução Customizada
 SP: Serviço ou Produto
 P&D: Pesquisa e Desenvolvimento

Parcial: Solução que pode ser usada como ferramenta para auxiliar o desafio e o respectivo objetivo geral
 Alternativo: Solução alternativa ao desafio proposto, que atende de certa forma o objetivo final do mesmo.
 Completo: Solução que atende diretamente ao desafio proposto, além do objetivo final do mesmo.

* A solução pode ser classificada como Parcial para o desafio de Aumento do fator de Recuperação de Hidrocarbonetos.

** A solução pode ser classificada como Parcial para o desafio de Manipulação Molecular *In Situ*.

Fonte: Elaboração própria.

Em relação à dificuldade para encontrar soluções de IA que atendam ao desafio em CO₂, nota-se que nesse setor há ainda uma falta de soluções de modo geral nesse tema. Isso pode ser evidenciado pelo recente investimento da petrolífera BP em projetos associados à CCS para reservas geológicas (BP, 2019). E segundo Budinis *et al* (2018), nenhuma barreira de CCS é

exclusivamente técnica, sendo o custo do CCS o obstáculo mais significativo no curto e médio prazo. Além disso, existem outras barreiras não técnicas, como a falta de mecanismos e incentivos de mercado e menos mecanismos eficazes para penalizar as principais fontes emissoras de CO₂ (BUDINIS *et al.*, 2018). Sobre o desafio de aumentar o fator de recuperação, um ponto que vale a pena ser destacado é que, ao contrário do que demonstrado na figura III.8 sobre a não aplicabilidade da IA para a injeção de fluidos na etapa de produção, foi mostrado neste estudo que a IA tem atuação nesse tipo de atividade, mesmo que em fase de P&D.

VI.2.2 Análise das soluções em IA nos desafios de negócios

Os desafios de negócios abordados no item V.2 do capítulo V foram divididos em objetivos específicos, conforme a metodologia abordada no item IV.2.2. do capítulo IV. Como mostra a tabela VI.12, os desafios abordam questões relacionadas aos recursos humanos, desde o recrutamento à aposentadoria; gerenciamento de dados e ativos, tais como equipamentos e instalações; a otimização na produção, tanto em termos de produtividade quanto de custos; mercado e fatores geopolíticos, que interferem em todas as tomadas de decisões e; as regulamentações que precisam ser melhor gerenciadas tendo em vista a alta burocracia envolvida. Assim como nos desafios técnicos, também foram mapeadas as soluções de IA que de alguma forma poderiam atender esses objetivos levantados.

Tabela VI.12: Objetivos específicos dos desafios de negócios

FATORES	DESAFIOS	#	OBJETIVOS ESPECÍFICOS
INTERNOS	Recursos Humanos	1	Integração e retenção de talentos.
		2	Melhorar o recrutamento e treinamento da próxima geração.
		3	Melhorar o atendimento às demandas de pessoal.
		4	Aumentar a Gestão de conhecimento de profissionais prestes a se aposentar.
		5	Melhorar condições de segurança para o trabalhador.
	Gerenciamento de dados e ativos	6	Integração e Gerenciamento de dados e ativos de departamentos e unidades.
		7	Aumentar a transparência nas operações e processos.
		8	Agilizar comunicação com prestadores de serviços, fornecedores e clientes.
OTIMIZAÇÃO NA PRODUÇÃO	9	Redução de custos de produção.	
	10	Sem paralisações não planejadas.	
	11	Otimização no uso de ativos ou aumento do ROA.	
	12	Aumento nas taxas de produção.	
EXTERNOS	Mercado e fatores geopolíticos	13	Maior controle sobre as oscilações de preços, oferta e demanda de barril de petróleo, devido a fatores geopolíticos.
		14	Rever ou reconquistar a confiança dos investidores.
	Regulamentações	15	Cumprimento dos regulamentos de Saúde, Meio Ambiente e Segurança, licitações ou acordos de compartilhamento de produção de forma mais ágil.

Fonte: Elaboração própria.

Como mostra a tabela VI.13, existem soluções de IA que podem ser aplicadas a mais de um dos desafios descritos anteriormente. Sobre os desafios regidos por fatores internos à petrolífera, percebe-se que as soluções para os Recursos Humanos (RH) foram mais restritas à essa categoria, com exceção do seu quinto objetivo, já que tange também uma necessidade para as Regulamentações. Em RH, a IBM se destacou das demais visto que, com parcerias estratégicas, é capaz de promover tanto a integração e retenção, quanto a gestão de conhecimento dos profissionais. Já no quesito de maior abrangência, as colaborações da Accenture com a SAP e da Schneider Electric com a Microsoft se destacaram por atenderem todos os objetivos do segundo e do terceiro desafio, respectivamente.

Dos fatores externos, aqueles que mais fogem do controle da Indústria O&G, observou-se uma diversidade de abordagens para alcançar um mesmo objetivo. Para lidar com as questões de oferta e demanda, há uma solução da Validere para otimizar o valor do barril de petróleo e da Baker Hughes para otimizar o reabastecimento de estoque, que é sempre muito impactado por constantes oscilações do mercado. Já para reter a confiança de investidores, foi encontrada uma solução da IHS Markit que fornece aos acionistas uma ferramenta capaz de avaliar o risco e o desempenho futuro de uma petrolífera, por meio da previsão da produção de milhões de poços no mercado americano. Para atender as regulamentações, as petrolíferas têm uma gama de opções para diminuir as taxas de acidentes, por meio da análise mais rápida de incidentes, pela IBM e Woodside, ou por um acionamento otimizado de protocolos de segurança, como é feito pela Petrobras e Microsoft.

Tabela VI.13: Descrição das possíveis soluções adotadas para os desafios de negócios

# DESAFIO	EMPRESAS	SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO DOS OBJETIVOS
1	IBM e Workday	<i>Cognitive HR for Energy</i>	Plataforma de gerenciamento talentos e desenvolvimento de habilidades e da progressão na carreira (IBM, 2020d).
2	Ideal	<i>Screening and Matching</i>	Rastrear e pré-selecionar candidatos e vasculhar o banco de dados de candidatos existente para obter os perfis esperados (IDEAL, 2020).
1;3	Shell e Catalant	<i>The Shell Opportunity Hub</i>	Combinar os funcionários com as necessidades da empresa (CHECKR, 2019).
4	IBM e Woodside	<i>Watson</i>	Disponibilizar o conhecimento existente em toda a empresa e preservar o tempo de sabedoria coletiva (IBM, 2020c).
5	Saratix	<i>O&G HSE</i>	Fornecer uma análise preditiva de alta precisão sobre os principais problemas de Saúde, Segurança e Meio Ambiente (SARATIX, 2020).
6;9;10;11	Baker Hughes e C3.ai	<i>BHC3 Predictive Asset Maintenance™</i>	Identificar ativos de alto risco e recomendar ações prescritivas antes que ocorram falhas (BAKER, 2020d).
6;8;9	EY e GE, IBM, Microsoft, SAP	<i>Intelligent Asset Management (IAM)</i>	Analisar dados de máquinas e equipamentos para melhorar a produtividade e a confiabilidade (EY, 2020b).
6;9	Similarity e AWS	<i>Smart Asset Monitoring (SAM)</i>	Monitorar ativos, detectar anomalias e prever incidentes em Upstream, de modo a combinar diferentes fontes de dados (INTEL, 2020b).
6;7;8;9;11;13	SAP e Accenture	<i>SAP S/4HANA</i>	Permitir a obtenção da excelência operacional em diversas áreas como finanças, compras, gerenciamento de ativos, logística em campo e gerenciamento contábil de hidrocarbonetos (BUSINESS WIRE, 2018).
10;12	Data Robot	<i>Oil and Gas Solutions - Production</i>	Otimizar taxas de fluxo, pressão e outras variáveis para a produção máxima da vida útil do poço, antecipando problemas para evitar interrupções (DATA ROBOT, 2020).
5;9;12;15	Baker Hughes e C3.ai	<i>BHC3 Production Optimization</i>	Detectar anomalias, prever a produção e realizar ações prescritivas que melhoram o desempenho da produção, de modo a contribuir para integração e visualização de dados, melhoria na segurança devido à maior visibilidade dos processos de produção, redução nos custos operacionais (BAKER, 2020e).
8;9;10;11;12	Schneider Electric e Microsoft	<i>Azure Machine Learning</i>	Identificar os problemas da bomba, reduzindo o tempo de inatividade não planejado e os custos e aumentando a produção e agilidade dos serviços de manutenção (MICROSOFT, 2017).
11;12	Solution Seeker	<i>Optimizing</i>	Utilizar da melhor maneira os gargalos do sistema de produção e, assim, aumentar o rendimento da produção (SOLUTION SEEKER, 2020).
8;13	Validere	<i>Validere for Producers</i>	Otimizar o valor de um barril de petróleo, combinando dados de qualidade do petróleo com dados de mercado e preços de commodities (CDN2, 2020).
8;9;13	Baker Hughes e C3.ai	<i>BHC3 Inventory Optimization</i>	Otimizar os parâmetros de reabastecimento e minimizar os custos de estoque e transporte de estoque para cada peça ou produto (BAKER, 2020e).
14	IHS Markit	<i>IHS Markit Automated Well Forecasting</i>	Prever a produção de diversos poços para ajudar na avaliação de risco de investidores sobre o desempenho futuro da empresa (IHS MARKIT, 2019).
15	IBM e Woodside	<i>Watson for HSEQ</i>	Reduzir o tempo para análise de informações de incidentes de segurança (WOODSIDE, 2020).
6;15	Lloyd's Register	<i>SafetyScanner HSE</i>	Identificar prioridades e concentrar os esforços nas áreas certas, reduzindo as taxas de incidentes e garantindo que os riscos críticos de SSMA sejam efetivamente registrados e bem gerenciados (LR, 2020).
5;15	SeaDrill	<i>Vision IQ for offshore drilling rigs</i>	Monitorar e fornecer aviso avançado de riscos em potencial na Zona Vermelha, de forma a garantir a segurança do trabalhador (DRILLING CONTRACTOR, 2019).
5;15	Petrobras e Microsoft	<i>Supervisory HSE system</i>	Reduzir a taxa de acidentes registrados ao instalar um sistema de monitoramento de imagem em ambientes operacionais de risco (PETROBRAS, 2019; ISSUU, 2018).

Fonte: Elaboração própria.

De modo geral, observou-se pela tabela VI.14 que as soluções de IA encontradas para os desafios de negócios estão em uma fase bem avançada. Isso se deve ao fato de que 75% das iniciativas foram classificadas como um produto ou serviço já disponível no mercado e 25% são soluções customizadas entre uma empresa prestadora de serviço de IA e uma operadora em E&P. Além disso, devido ao desmembramento em objetivos mais específicos, foi possível também identificar soluções que chegam a atender mais de uma categoria de desafio, destacando-se o caso da *BHC3 Production Optimization* da Baker Hughes com a C3.ai que atende quatro dos objetivos dos desafios de negócios devido a sua proposta de melhorar o desempenho da produção, ao mesmo tempo que reduzir os custos operacionais, realizando a integração e visualização de dados e melhoria na segurança (BAKER, 2020e). A solução *SAP S/4HANA* por outro lado se destaca devido ao maior número de objetivos específicos atendidos, totalizando-se seis deles, o que pode ser explicado pela abrangência em diversas áreas como finanças, compras, gerenciamento de ativos, logística em campo e gerenciamento contábil de hidrocarbonetos (ACCENTURE, 2020b). Dentre o universo de tecnologias de IA disponíveis no mercado, as mais citadas nos desafios de negócios são *machine learning* e seus derivados *deep learning* e *predictive analytics*, o que também é condizente com a predominância encontrada na análise dos ecossistemas e dos desafios técnicos do item VI.2.1 deste capítulo.

Sob um panorama geral, pode ser validada a ideia de que a IA é uma ferramenta chave para a resolução dos mais diversos desafios do setor de E&P, sendo os técnicos os que exigem maior nível de investimento em P&D. Nessa grande gama de aplicações, percebe-se o uso da IA para atividades específicas, como as relacionadas aos desafios de RH, até as mais gerais, que buscam essencialmente uma maior produtividade e eficiências nas atividades operacionais desse setor. Essa tecnologia, que é predominantemente associada aos algoritmos de ML devido ao grande volume de dados oriundos tanto de equipamentos diversos às áreas comerciais e administrativas, mostra-se extremamente relevante para a manutenção da competitividade das petrolíferas na indústria energética.

Tabela VI.14: Classificação das soluções de IA encontradas para os desafios de negócios

DESAFIOS	#	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS															EMPRESAS E PRINCIPAIS PARCERIAS	SOLUÇÕES
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Recursos Humanos	1	Integração e retenção de talentos.																IBM e Workday	<i>Cognitive HR for Energy</i>
	2	Melhorar o recrutamento e treinamento da próxima geração.		X														Ideal	<i>Screening and Matching</i>
	3	Melhorar o atendimento às demandas de pessoal.																Shell e Catalant	<i>The Shell Opportunity Hub</i>
	4	Aumentar a Gestão de conhecimento de profissionais prestes a se aposentar.	X															IBM e Woodside	<i>Watson</i>
	5	Melhorar condições de segurança para o trabalhador.																Saratix	<i>O&G HSE</i>
Gerenciamento de dados e ativos	6	Integração e Gerenciamento de dados e ativos de departamentos e unidades.	O		O													Baker Hughes e C3.ai	<i>BHC3 Predictive Asset Maintenance™</i>
	7	Aumentar a transparência nas operações e processos.				O												EY e GE, IBM, Microsoft, SAP	<i>Intelligent Asset Management (IAM)</i>
	8	Agilizar comunicação com prestadores de serviços, fornecedores e clientes.					X											Similarity e AWS	<i>Smart Asset Monitoring (SAM)</i>
Otimização na produção	9	Redução de custos de produção.																SAP e Accenture *	<i>SAP S/4HANA</i>
	10	Sem paralisações não planejadas.					X			X	X	X						Data Robot	<i>Oil and Gas Solutions - Production</i>
	11	Otimização no uso de ativos ou aumento do ROA.					X		X	X								Baker Hughes e C3.ai	<i>BHC3 Production Optimization</i>
Mercado e fatores geopolíticos	12	Aumento nas taxas de produção.					X		X	X								Schneider Electric e Microsoft	<i>Azure Machine Learning</i>
	13	Maior controle sobre as oscilações de preços, oferta e demanda de barril de petróleo, devido a fatores geopolíticos.					X	X	X	X		X		X				Solution Seeker	<i>Optimizing</i>
	14	Retar ou reconquistar a confiança dos investidores.					X	X	X	X		X		X				Validere	<i>Validere for Producers</i>
Regulamentações	15	Cumprimento dos regulamentos de Saúde, Meio Ambiente e Segurança, licitações ou acordos de compartilhamento de produção de forma mais ágil.									X		X					Baker Hughes e C3.ai	<i>BHC3 Inventory Optimization</i>
																		IHS Markit	<i>IHS Markit Automated Well Forecasting</i>
																		IBM e Woodside	<i>Watson for HSEQ</i>
																		Lloyd's Register	<i>SafetyScanner HSE</i>
																		SeaDrill	<i>Vision IQ for offshore drilling rigs</i>
																	Petrobras & Microsoft	<i>Supervisory HSE system</i>	

Legenda:

Nível de progresso da solução:

- X Serviço/Produto
- O Solução customizada

Tecnologia IA utilizada:

- Predictive analytics + AI
- Machine Learning
- Tecnologia IA não especificada
- Deep Learning
- Natural Language Processing

* Nesta solução para O&G, as empresas Anyline GmbH, AWS, Celonis, EY, IBM, Tech Mahindra, Utopia Global, Vesta, Wipro, Aperio, OpenText, SAP FieldGlass, Vistex, Maventic, OIS SE e Viziya

Fonte: Elaboração própria

VII Conclusão

As empresas de petróleo e gás têm adotado por décadas um modelo de negócios baseado em um retorno financeiro significativo oriundo da obtenção e venda de hidrocarbonetos presentes em lugares de alta complexidade logística e técnica. No entanto, esse modelo passou a ser revisto com a chegada de uma demanda energética renovável de baixo impacto ambiental, crises políticas e econômicas em esfera global e a necessidade de explorar poços de difícil acessibilidade com reservas de baixa produtividade. Em paralelo, pessoas físicas e jurídicas têm sido impactadas por tecnologias digitais que oferecem a oportunidade de facilitar as suas rotinas, maximizar investimentos, mitigar riscos e minimizar custos.

Nesse contexto, o setor de E&P como um todo percebeu a necessidade de implementar tais tecnologias e com isso, mudar a sua forma de atuação em termos operacionais e estratégicos. O tradicional ecossistema composto por atores majoritariamente dedicados às atividades petrolíferas deu entrada às empresas de tecnologia detentoras de portes e expertises diversas. E uma tecnologia que vem se destacando nessa nova Era digital pela sua grande influência na tomada de decisões é a inteligência artificial. Como evidenciado neste estudo, a IA é desmembrada em seis principais categorias que mimetizam capacidades e características humanas, como a comunicação, visão, audição, raciocínio, planejamento, interatividade e por último, mas não menos importante, a aprendizagem abrangida pelo *machine learning*, o subdomínio da IA utilizado para prever e identificar padrões a partir de dados. Os dados gerados em quantidades massivas e distintas no setor *Upstream*, até então subutilizados, passaram a ser um dos grandes ativos para decisões estratégicas graças à IA.

Nesse trabalho, foram mostradas as diferentes vertentes da IA no setor *Upstream*, validando a imensa interdependência com as demais tecnologias digitais. Essas atuam desde a aquisição dos dados na fonte de equipamentos, como os sensores IoT, até o processamento de alto performance das HPCs hospedadas na nuvem, a plataforma “mãe” que habilita de forma segura a execução desses algoritmos de IA em tempo real. Em termos de tipo de atividade de E&P, o estudo identificou a presença dessas técnicas na maior parte dos estágios que compõem o ciclo de vida da indústria de petróleo, da descoberta à produção. Como exemplos de IA, na exploração tem-se a interpretação sísmica acelerada desenvolvida pela IBM junto com a Galp, no desenvolvimento a prestadora de serviços Weatherford atua com um sistema capaz de validar a integridade do poço

de petróleo, desde a fabricação do tubo até a instalação, e na produção há serviços de manutenção preditiva que aumenta a eficiência e durabilidade das bombas utilizadas para elevar artificialmente a pressão dos reservatórios, oferecidas tanto pela Siemens quanto pela Schneider Electric.

Sobre as operadoras de maior faturamento anual, conclui-se que absolutamente todas possuem iniciativas de IA, porém em ritmos e objetivos distintos. Nesse caso, nota-se que as IOCs são as empresas que vêm trabalhando com essa tecnologia há mais tempo e com um maior número de parcerias, em relação às estatais NOCs. No aspecto referente aos objetivos estratégicos, cada empresa tem um tipo de abordagem em relação a esse tema e pode-se destacar quatro deles. O primeiro tipo são as operadoras que investem financeiramente em startups especializadas em IA, como a BP e Saudi Aramco; o segundo são as que procuram investir nos seus próprios talentos para que sejam capazes de desenvolver internamente esses algoritmos, como exemplo a Shell; outro tipo são as que se unem à programas de IA já presentes no mercado com parcerias bem consolidadas e influentes em E&P e em tecnologias digitais, como é o caso da Chevron em parceria tanto com a Schlumberger e Microsoft, quanto com a SAP e Accenture; e por fim, existem as que procuram colaborar com projetos desde a fase inicial de desenvolvimento em IA com referências neste ramo, tendo exemplo a parceria da IBM com a GPN. Apesar disso, muitas dessas empresas desenvolvem mais de um tipo dessas quatro estratégias, o que ressalta o nítido interesse que a IA tem despertado nessas empresas para alavancar os seus negócios. Dentre as empresas de tecnologia com mais parcerias envolvidas nesse ecossistema de E&P, destacam-se as de grande porte Microsoft e a IBM, que possuem não somente expertise em IA, como nas demais tecnologias digitais, incluindo infraestruturas de nuvem. No entanto, apesar da Google ter sido considerada um dos maiores atores de IA no setor de E&P, a empresa de grande relevância e influência do setor tecnológico decidiu em 2020 não promover mais soluções customizadas de IA para as petrolíferas, enfatizando a preferência para resolver questões de empresas de energia renovável. Referente à dimensão do impacto dessa decisão sobre o ecossistema de IA em E&P, pode ser levantado o questionamento se outras empresas serão influenciadas e a partir de que escala temporal.

Sobre os desafios técnicos enfrentados pelas petrolíferas, nota-se cada um deles varia bastante de acordo com o tipo de aplicação e nível de maturidade das soluções de IA. O relacionado à reutilização da água produzida é o que possui o maior número de soluções de IA disponíveis no mercado, tendo como uma das propostas a indicação feita por ML do melhor tratamento de água

com base na sua destinação final. Por outro lado, existem aplicações da IA que se propõem a contribuir de forma alternativa a um dos desafios e em fase de P&D, que é o caso da obtenção de imagens de subsuperfície em alta resolução. Nesse último, a IA tem como proposta atender o objetivo geral de melhorar a exploração de hidrocarbonetos em reservatórios, por meio da abordagem de melhorar a interpretação sísmica ou ainda prever informações geológicas críticas. Já o desafio, que de todos, demonstrou a menor aplicabilidade em IA é o referente à captação e fixação de carbono, porém, isso pode ser atribuído ao desenvolvimento ainda prematuro da tecnologia de CCS em si no setor de E&P. Para o desafio de aumento do fator de recuperação de hidrocarbonetos, foram encontradas soluções de IA que atendem de forma completa essa proposta, mas todas em fase de P&D, o que até contradiz a consultora Lek (2019) sobre a não aplicabilidade da IA para esse tipo de atividade, como mostrado na figura III.8. Por último, a manipulação molecular *in situ* possui soluções de IA, tanto em fase de pesquisa quanto comercial, mas que atendem apenas de forma parcial, oferecendo avanços na simulação de reservatórios, por exemplo.

Em relação aos desafios de negócios, a IA demonstrou a sua grande presença e interdisciplinaridade no que diz respeito aos objetivos específicos de tais desafios. Dos cinco desafios levantados, parte dos objetivos de quatro deles são cobertos por uma solução de IA da Baker Hughes com a empresa de software C3.ai, que visa melhorar o desempenho da produção e segurança, contribuir para integração e visualização de dados e reduzir os custos operacionais do setor de E&P. Além disso, a solução SAP S/4HANA se destaca por atender um total de seis objetivos específicos, devido à sua ampla aplicabilidade em áreas como finanças, compras, gerenciamento de ativos, logística em campo e gerenciamento contábil de hidrocarbonetos. Para solucionar a questão de RH no setor, foram encontradas diferentes abordagens de IA que endereçam questões como desenvolvimento de habilidades e da progressão na carreira, a pré-seleção de candidatos de acordo com o perfil esperado, a combinação dos atuais funcionários com as necessidades da empresa e ainda a disponibilização do conhecimento existente de profissionais experientes para toda a empresa, de modo que a aposentadoria não seja mais considerada um sinônimo de impacto negativo na produtividade das equipes. Sobre os desafios atrelados a fatores externos, há iniciativas de IA voltadas para regulamentações ao focar especialmente na questão de segurança, sendo capaz de realizar monitoramento de imagem em ambientes operacionais de risco e reduzir o tempo para análise de informações de incidentes. Acerca do mercado e fatores geopolíticos, a IA pode atuar na otimização do valor de um barril de petróleo e prever a produção

de diversos poços para ajudar na avaliação de risco de investidores sobre o desempenho futuro da empresa.

Como limitações deste estudo, não foram analisadas em detalhes as parcerias em projetos de IA entre prestadoras de serviços em E&P e as operadoras, apesar desse relacionamento já ser bem consolidado no mercado petrolífero. Além disso, como a lista de soluções e iniciativas de IA discutidas neste trabalho não é exaustiva e há empresas que podem optar por manter de forma sigilosa as suas estratégias de transformação digital, existe portanto a possibilidade de que as percepções levantadas sobre a aplicabilidade dessa tecnologia em *Upstream* sejam influenciadas de maneira significativa. De qualquer forma, com base nas informações coletadas, conclui-se que esse trabalho ressalta o quão forte é a presença da IA no setor de E&P, trazendo um grande potencial na resolução parcial ou até completa de grandes desafios enfrentados pelas petrolíferas não diretamente associados à essa tecnologia. Apesar da forte ameaça de transição energética para fontes renováveis, percebe-se que as grandes petrolíferas veem valor em investir nessa nova Era digital, utilizando a IA como uma ferramenta chave para otimizar os seus processos e torná-los mais competitivos possíveis a ponto de estender cada vez mais a sua liderança no mercado de energia, ou pelo menos até a extração da “última gota de petróleo”. Portanto, como sugestão para trabalhos futuros, ressalta-se a importância de buscar e analisar soluções de IA com diferentes níveis de maturidade e parcerias, incluindo entidades acadêmicas, que atendam as demandas atuais das empresas de petróleo que operam em território brasileiro.

Referências Bibliográficas

AUTOMATION WORLD. **Siemens Targets Co-Creation and Edge Computing**. 2020. Disponível em: <https://www.automationworld.com/process/iiot/article/21117257/siemens-targets-cocreation-and-edge-computing>. Acesso em: 03/08/2020.

BP. **BP ENERGY OUTLOOK**. 2019. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/press-releases/bp-energy-outlook-2019.html>. Acesso em: 03/08/2020.

COMPTROLLER. **Oil and Gas Exploration and Production Lending**. 2016. Disponível em: <https://www.occ.gov/publications-and-resources/publications/comptrollers-handbook/files/oil-gas-exploration-prod-lending/pub-ch-oil-and-gas.pdf>. Acesso em: 23/07/2020.

EKT INTERACTIVE. **What is Midstream?** 2020. Disponível em: <https://www.ektinteractive.com/what-is-midstream/>. Acesso em: 23/07/2020.

ENERGY INSTITUTE. **Oil and gas**. 2020. Disponível em: <https://www.energyinst.org/exploring-energy/topic/oil-and-gas>. Acesso em: 03/08/2020.

ENVIRONMENT AND ECOLOGY. **How Does Oil Impact the Environment?** 2020. Disponível em: <http://environment-ecology.com/energy-and-environment/92-how-does-oil-impact-the-environment.html>. Acesso em: 03/08/2020.

FORBES. **What is Industry 4.0? Here's A Super Easy Explanation For Anyone**. 2018. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/#2ad939289788>. Acesso em: 03/08/2020.

IBM. **AI, machine learning and deep learning: What's the difference?** 2019. Disponível em: <https://www.ibm.com/blogs/systems/ai-machine-learning-and-deep-learning-whats-the-difference/>. Acesso em: 03/08/2020.

INKPEN, A. C.; MOFFETT, M. H. **The Global Oil & Gas Industry: Management, Strategy & Finance**. [S.l.]: Pennwell Books, 2011.

LOGIC MAG. **Oil is the new data**. 2019. Disponível em: <https://logicmag.io/nature/oil-is-the-new-data/>. Acesso em: 03/08/2020.

MARIANO, J. B.; ROVERE, E. L. L. **ENVIRONMENTAL IMPACTS OF THE OIL INDUSTRY**. of Life Support Systems (EOLSS), 2017. Disponível em: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c08/E6-185-18.pdf>. Acesso em: 03/08/2020.

PETROBRAS. **Conheça os derivados do petróleo que fazem parte do cotidiano**. 2014. Disponível em: <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/conheca-os-derivados-do-petroleo-que-fazem-parte-do-cotidiano.htm>. Acesso em: 03/08/2020.

THINK ENERGY. **Os benefícios da transformação digital**. 2019. Disponível em: <https://indd.adobe.com/view/50a55093-3f2f-4e09-82ea-8ec1bb0a262e>. Acesso em: 03/08/2020.

ANP. **Fase de Produção**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/gestao-de-contratos-de-e-p/fase-de-producao>. Acesso em: 03/02/2020.

BUREAU OF OCEAN ENERGY MANAGEMENT (BOEM). **G&G Data Acquisition And Analysis**. Disponível em: <https://www.boem.gov/oil-gas-energy/resource-evaluation/gg-data-acquisition-and-analysis-0>. Acesso em: 05/06/2020.

DICIONÁRIO DO PETRÓLEO. **Comissionamento**. Disponível em: <http://dicionariodopetroleo.com.br/dictionary/comissionamento/>. Acesso em: 14/04/2020.

DIRECTORATE GENERAL OF HYDROCARBONS; MINISTRY OF PETROLEUM NATURAL GAS GOVERNMENT OF INDIA. **Good International Petroleum Industry Practices (GIPIP)**. 2016. Disponível em: http://petroleum.nic.in/sites/default/files/GIPIP_Final_approved.pdf. Acesso em: 03/02/2020.

ENERGY HQ. **UPSTREAM? MIDSTREAM? DOWNSTREAM? WHAT'S THE DIFFERENCE?** 2017. Disponível em: <https://energyhq.com/2017/04/upstream-midstream-downstream-whats-the-difference/>. Acesso em: 23/07/2020.

ENERGY INFORMATION AUSTRALIA. **SEISMIC SURVEYS**. Disponível em: <https://energyinformationaustralia.com.au/oil-and-gas-explained/environmental-management/seismic-surveys/>. Acesso em: 05/06/2020.

HÖÖK, M. *et al.* **Decline and depletion rates of oil production: a comprehensive investigation**. 2014. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2012.0448#d3e256>. Acesso em: 23/07/2020.

ISTITUTO DELLA ENCICLOPEDIA ITALIANA (ENI). **Encyclopaedia of Hydrocarbons: Exploration, production and transport.** ENI, 2005. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/f501/e087eff3bf38cdfc877b0229d8683e451b88.pdf>. Acesso em: 23/07/2020.

NEW ZEALAND PETROLEUM AND MINERALS. **Exploration.** 2017a. Disponível em: <https://www.nzpam.govt.nz/our-industry/nz-petroleum/phases/exploration/>. Acesso em: 23/07/2020.

NEW ZEALAND PETROLEUM AND MINERALS. **Production.** 2017b. Disponível em: <https://www.nzpam.govt.nz/our-industry/nz-petroleum/phases/production/>. Acesso em: 23/07/2020.

NEW ZEALAND PETROLEUM AND MINERALS. **Prospecting.** 2017c. Disponível em: <https://www.nzpam.govt.nz/our-industry/nz-petroleum/phases/prospecting/>. Acesso em: 23/07/2020.

REPORTING OIL AND GAS. **The Exploration and Production Life cycle of oil and gas.** 2016. Disponível em: <http://www.reportingoilandgas.org/the-exploration-and-production-life-cycle-of-oil-and-gas/>. Acesso em: 14/04/2020.

SCHLUMBERGER. **ESP.** Disponível em: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/e/esp.aspx>. Acesso em: 03/02/2020.

SCHLUMBERGER. **Stratigraphy.** Disponível em: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/s/stratigraphy.aspx>. Acesso em: 03/02/2020.

SEISMIC SURVEY. **Seismic surveying is a vital part of exploring for oil and gas.** Disponível em: <http://www.seismicsurvey.com.au/>. Acesso em: 05/06/2020.

WOOD. **Best Available Techniques Guidance Document on upstream hydrocarbon exploration and production.** 2019. Disponível em: https://ec.europa.eu/environment/integration/energy/pdf/hydrocarbons_guidance_doc.pdf. Acesso em: 23/07/2020.

AMD. **Computação de Alto Desempenho (HPC).** Disponível em: <https://www.amd.com/pt/technologies/hpc-explained>. Acesso em: 19/07/2020.

ASVATHANARAYANAN, S. **Better on the cloud: IoT, Big Data, and AI**. 2018. Disponível em: <https://opensource.com/article/18/7/digital-transformation-strategy-think-cloud>. Acesso em: 02/08/2020.

EY. **AI in oil and gas**. 2019a. Disponível em: https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_gl/topics/oil-and-gas/ey-ai-in-oil-and-gas.pdf. Acesso em: 23/07/2020.

EY. **Is AI the fuel oil and gas needs?** 2019b. Disponível em: https://www.ey.com/en_gl/oil-gas/is-ai-the-fuel-oil-and-gas-needs. Acesso em: 23/07/2020.

GRIZHNEVICH, A. **A comprehensive guide to IoT-based predictive maintenance**. 2018. Disponível em: <https://www.scnsoft.com/blog/iot-predictive-maintenance-guide>. Acesso em: 05/06/2020.

IOT WORLD. **Internet of Things and SCADA: Is One Going To Replace The Other?** 2018. Disponível em: <https://iiot-world.com/industrial-iot/connected-industry/internet-of-things-and-scada-is-one-going-to-replace-the-other/>. Acesso em: 03/08/2020.

JESUS, A. de. **Predictive Analytics in the Oil and Gas Industry – Current Applications**. 2018. Disponível em: <https://emerj.com/ai-sector-overviews/predictive-analytics-oil-gas-industry-current-applications/>. Acesso em: 23/07/2020.

LEK. **Best Practices in Advanced Data Science: Lessons for the Oil and Gas Industry**. 2019. Disponível em: <https://www.lek.com/insights/ei/data-science-best-practices-oil-gas-industry>. Acesso em: 03/08/2020.

MCKINLEY, N. **Big Data, AI, IoT & Cloud Computing: Futuristic Approach?** 2020. Disponível em: <https://www.techbooky.com/big-data-ai-iot-cloud-computing/>. Acesso em: 05/07/2020.

ONAG, G. **ABI Research: 5 challenges holding back IoT in the O&G industry**. 2020. Disponível em: <https://futureiot.tech/abi-research-5-challenges-holding-back-iot-in-the-og-industry/>. Acesso em: 25/07/2020.

ORACLE. **O Que é Big Data?** Disponível em: <https://www.oracle.com/br/big-data/what-is-big-data.html>. Acesso em: 03/08/2020.

SALES FORCE. **12 Benefits of Cloud Computing**. 2020. Disponível em: <https://www.salesforce.com/products/platform/best-practices/benefits-of-cloud-computing/>.

Acesso em: 28/05/2020.

SAS. **What is Big Data?** Disponível em: https://www.sas.com/pt_br/insights/big-data/what-is-big-data.html. Acesso em: 05/07/2020.

SLAUGHTER, A. **Connected barrels: Transforming oil and gas strategies with the Internet of Things**. 2015. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/internet-of-things/iot-in-oil-and-gas-industry.html>. Acesso em: 03/06/2020.

VERMA, A. **The Relationship between IoT, Big Data, and Cloud Computing**. 2018. Disponível em: <https://www.whizlabs.com/blog/relationship-between-iot-big-data-cloud-computing/>. Acesso em: 03/07/2020.

YILDIZ, M. **Effective Solutions Combining IoT, Big Data, and Cloud**. 2019. Disponível em: <https://theiotmagazine.com/effective-solutions-combining-iot-big-data-and-cloud-e6b687dcae66>.

Acesso em: 01/08/2020.

BHARADWAJ, R. **AI for Exploration & Production (Upstream) in the Oil and Gas Industry – Current Applications**. 2019. Disponível em: <https://emerj.com/ai-sector-overviews/ai-exploration-production-upstream-oil-gas-industry-current-applications/>. Acesso em: 01/08/2020.

C3.AI. **Transforming oil & gas with Enterprise AI**. Disponível em: <https://c3.ai/industries/oil-gas/>. Acesso em: 09/06/2020.

CAPGEMINI. **Realizing the potential of AI in the oil and gas industry**. 2018. Disponível em: <https://www.capgemini.com/us-en/2018/11/realizing-the-potential-of-ai-in-the-oil-and-gas-industry/>. Acesso em: 14/04/2020.

COUNCIL, G. **Machine Learning AI vs Expert Systems AI Why It's Better**. 2019. Disponível em: <https://www.parascript.com/blog/machine-learning-ai-vs-expert-systems-ai/>. Acesso em: 05/06/2020.

EGHBALI, S.; AYATOLLAHI, S.; BOZORGMEHRY, R. **New expert system for enhanced oil recovery screening in non-fractured oil reservoirs**. 2016. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1016/j.fss.2015.05.003>. Acesso em: 03/02/2020.

FUTURE BRIDGE. **Artificial Intelligence in Supply Chain Management in Oil and Gas.** 2020. Disponível em: <https://www.futurebridge.com/industry/perspectives-energy/artificial-intelligence-in-supply-chain-management-in-oil-and-gas/>. Acesso em: 18/07/2020.

GETAC. **HOW AI IS CHANGING THE USE OF ROBOTICS IN THE ENERGY SECTOR.** 2020. Disponível em: <https://www.getac.com/intl/oil-gas/ai-changing-use-robotics-energy-sector/>. Acesso em: 15/06/2020.

IBM. **What is artificial intelligence?** 2020. Disponível em: <https://www.ibm.com/cloud/learn/what-is-artificial-intelligence>. Acesso em: 10/06/2020.

JAVA POINT. **Subsets of Artificial Intelligence.** Disponível em: <https://www.javatpoint.com/subsets-of-ai>. Acesso em: 30/07/2020.

LOKKO, N. N. B. C. **The Role and Use of Expert systems for Offshore Assets on the Norwegian Continental Shelf:** Status quo and value creating measures. 2012. 100 p. Dissertação (Offshore Technology - Industrial Asset Management) — University of Stavanger. Disponível em: <https://uis.brage.unit.no/uis-xmlui/bitstream/handle/11250/182908/Lokko%2C%20Nii%20Northey%20Basil%20C..pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05/06/2020.

MATE, P. **Branches Of Artificial Intelligence.** 2020. Disponível em: <https://medium.com/myroadtoartificialintelligence/branches-of-artificial-intelligence-812b8e292cdb>. Acesso em: 25/06/2020.

PANWAR, S. **Expert Systems and Applied Artificial Intelligence [AI].** 2018. Disponível em: <https://medium.com/@sunilpnwr/expert-systems-42715a5a5b14>. Acesso em: 14/04/2020.

ROBOTICS RESEARCH. **The Potential of Robotics in the Oil and Gas Industry.** 2020. Disponível em: <https://www.roboticsresearch/articles/19782/the-potential-of-robotics-in-the-oil-and-gas-industry>. Acesso em: 05/08/2020.

ROE, D. **Why Big Data, IoT, AI and Cloud Are Converging in the Enterprise.** 2019. Disponível em: <https://www.cmswire.com/digital-workplace/why-big-data-iot-ai-and-cloud-are-converging-in-the-enterprise/>. Acesso em: 17/07/2020.

SCHLUMBERGER. **Expert System**. Disponível em: https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/e/expert_system.aspx. Acesso em: 20/07/2020.

VERMA, K. **Expert systems and Machine learning**. 2019. Disponível em: <https://medium.com/@kunal3836/expert-systems-and-machine-learning-3c130bf5d45d>. Acesso em: 20/07/2020.

ADLER, S. **A Quick Guide to Artificial Intelligence (AI)**. 2019. Disponível em: <https://www.aiaa.net/decision-ai/news/a-basic-guide-to-ai>. Acesso em: 09/06/2020.

ALLDUS. **A BASIC GUIDE TO NATURAL LANGUAGE PROCESSING**. 2019. Disponível em: <https://alldus.com/blog/articles/a-basic-guide-to-natural-language-processing/>. Acesso em: 08/05/2020.

AZULAY, D. **Information Extraction in Oil and Gas – Using AI to Find Oil**. 2020. Disponível em: <https://emerj.com/partner-content/information-extraction-oil-and-gas/>. Acesso em: 04/07/2020.

BHARADWAJ, R. **Data Search and Discovery in Oil and Gas – a Review of Capabilities**. 2018. Disponível em: <https://emerj.com/ai-sector-overviews/data-search-discovery-oil-gas-review-capabilities/>. Acesso em: 03/07/2020.

EXPERT SYSTEM. **Natural language processing and text mining**. 2020. Disponível em: <https://expertsystem.com/natural-language-processing-and-text-mining/>. Acesso em: 05/06/2020.

HAUSSER, R. **Foundations of Computational Linguistics: Man-Machine Communication in Natural Language**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2013.

IBM. **AI, machine learning and deep learning: What's the difference?** 2019. Disponível em: <https://www.ibm.com/blogs/systems/ai-machine-learning-and-deep-learning-whats-the-difference/>. Acesso em: 10/06/2020.

KULKARNI, A.; SHIVANANDA, A. **Natural Language Processing Recipes: Unlocking Text Data with Machine Learning and Deep Learning using Python**. [S.l.]: Apress, 2019.

LYTRAS, M. D.; PAPADOPOULOU, P. **Applying Big Data Analytics in Bioinformatics and Medicine**. [S.l.]: IGI Global, 2017.

- MAHAPATRA, S. **Why Deep Learning over Traditional Machine Learning?** 2018. Disponível em: <https://towardsdatascience.com/why-deep-learning-is-needed-over-traditional-machine-learning-1b6a99177063>. Acesso em: 05/06/2020.
- MINER, G.; ELDER, J.; NISBET, R. A. **Practical Text Mining and Statistical Analysis for Non-structured Text Data Applications**. [S.l.]: Elsevier, 2012.
- NVIDIA. **Deep Learning**. 2020. Disponível em: <https://developer.nvidia.com/deep-learning>. Acesso em: 03/08/2020.
- ORACLE. **What Is Artificial Intelligence?** Disponível em: <https://www.oracle.com/sa/artificial-intelligence/what-is-artificial-intelligence.html>. Acesso em: 12/07/2020.
- ROSNER, M. **OIL & GAS AND NATURAL LANGUAGE PROCESSING ARE THE PERFECT MATCH NO ONE PREDICTED**. 2017. Disponível em: <https://www.sparkcognition.com/oil-gas-and-natural-language-processing-are-the-perfect-match-no-one-predicted/>. Acesso em: 18/06/2020.
- SHMELOVA, T.; SIKIRDA, Y.; STERENHARZ, A. **Handbook of Research on Artificial Intelligence Applications in the Aviation and Aerospace Industries**. [S.l.]: IGI Global, 2020.
- YSE, D. L. **Your Guide to Natural Language Processing (NLP)**. 2019. Disponível em: <https://towardsdatascience.com/your-guide-to-natural-language-processing-nlp-48ea2511f6e1>. Acesso em: 05/06/2020.
- ACCENTURE. **The search for value: Trends in digital investment**. 2020. Disponível em: <https://www.accenture.com/gb-en/insights/energy/trends-digital-investment>. Acesso em: 23/07/2020.
- BCG. **How Digital Will Transform the Upstream Oil Ecosystem**. 2017. Disponível em: <https://www.bcg.com/publications/2017/gas-technology-digital-transform-upstream-oil-ecosystem>. Acesso em: 30/07/2020.
- CARROLL, W. M. **Emerging Technologies for Nurses: Implications for Practice**. [S.l.]: Springer Publishing Company, 2020. Acesso em: 05/06/2020.

DELOITTE. **From bytes to barrels.** 2017. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/oil-and-gas/digital-transformation-upstream-oil-and-gas.html>. Acesso em: 02/07/2020.

DICIONÁRIO FINANCEIRO. **O que é VPL e como calcular.** Disponível em: <https://www.dicionariofinanceiro.com/valor-presente-liquido/>. Acesso em: 03/07/2020.

EY. **Navigating Geopolitics in Oil and Gas.** Disponível em: <https://www.ey.com/gl/en/industries/oil--gas/ey-navigating-geopolitics-in-oil-and-gas>. Acesso em: 03/02/2020.

GE. **The Digital Revolution in Oil & Gas.** 2016. Disponível em: <https://www.ge.com/news/reports/the-digital-revolution-in-oil-gas>. Acesso em: 23/07/2020.

IBM. **AI, machine learning and deep learning: What's the difference?** 2019. Disponível em: <https://www.ibm.com/blogs/systems/ai-machine-learning-and-deep-learning-whats-the-difference/>. Acesso em: 03/02/2020.

IBM. **Deep Learning.** 2020. Disponível em: <https://www.ibm.com/cloud/learn/deep-learning>. Acesso em: 23/07/2020.

IEA. **Digitalisation and Energy.** 2017. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>. Acesso em: 05/06/2020.

INFOSYS. **The disruption in Oil and Gas Upstream Business by Industry 4.0.** 2018. Disponível em: <https://www.infosys.com/engineering-services/white-papers/documents/disruption-oil-gas-upstream.pdf>. Acesso em: 29/07/2020.

JOINT RESEARCH CENTRE (JRC). **AI Watch Defining Artificial Intelligence.** 2020. Disponível em: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC118163/jrc118163_ai_watch_defining_artificial_intelligence_1.pdf. Acesso em: 05/06/2020.

NVIDIA. **How GPUs Are Transforming the Oil and Gas Industry.** 2017. Disponível em: <https://blogs.nvidia.com/blog/2017/03/15/transforming-oil-and-gas-industry/>. Acesso em: 21/05/2020.

NVIDIA. **AI: FUELING NEW EFFICIENCIES IN OIL AND GAS**. 2018. Disponível em: <https://www.nvidia.com/content/dam/en-zz/Solutions/Data-Center/dgx-1/dl-oil-n-gas-bhge-infographic.pdf>. Acesso em: 14/05/2020.

SIEMENS. **Artificial Intelligence drives early-warning alerts to prevent ESP disruptions**. 2019. Disponível em: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:eb3c9576-1084-4405-8c8d-bf8f267b2c75/version:1548792647/worldoil-ai-jan2019.pdf>. Acesso em: 06/05/2020.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Digital Transformation Initiative Oil and Gas Industry**. 2017. Disponível em: <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/white-paper-2017-dti-oil-gas.pdf>. Acesso em: 16/06/2020.

ACCENTURE. **A new formula for oil and gas exploration**. 2018. Disponível em: <https://www.accenture.com/us-en/insights/strategy/oil-gas-exploration>. Acesso em: 25/09/2019.

ALLISON, E.; MANDLER, B. **Water in the Oil and Gas Industry**. 2018. Disponível em: <https://www.americangeosciences.org/geoscience-currents/water-oil-and-gas-industry>. Acesso em: 25/09/2019.

COMMODITY. **What Are Commodity Exchanges?** 2020. Disponível em: <https://commodity.com/exchanges/>. Acesso em: 05/06/2020.

ENZER, G. **Oil & gas is facing a severe talent shortage**. 2014. Disponível em: <https://www.oilandgasmiddleeast.com/article-12091-oil--gas-is-facing-a-severe-talent-shortage>. Acesso em: 05/10/2019.

EPA. **Study of Oil and Gas Extraction Wastewater Management Under the Clean Water Act**. 2019. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-05/documents/oil-and-gas-study_draft_05-2019.pdf. Acesso em: 20/10/2019.

HAGSTRÖM, E. L. *et al.* **Produced Water—Emerging Challenges, Risks, and Opportunities**. 2016. Disponível em: http://files.brattle.com/files/7295_produced_water_emerging_challenges_risks_and_opportunities.pdf. Acesso em: 20/10/2019.

HALLIBURTON. **Mature fields**. Disponível em: <https://www.halliburton.com/en-US/ps/solutions/mature-fields/about-mature-fields.html>. Acesso em: 02/11/2019.

NEAL, J.; KROHN, C. **Higher Resolution Subsurface Imaging**. 2012. Disponível em: https://www.spe.org/en/industry/docs/higher-resolution_subsurface_imaging.pdf/. Acesso em: 25/09/2019.

OPEC. **OPEC's role and the challenges we face in the petroleum industry**. 2003. Disponível em: https://www.opec.org/opec_web/en/press_room/913.htm. Acesso em: 23/07/2020.

REUTERS. **BP Deepwater Horizon costs balloon to \$65 billion**. 2018. Disponível em: <https://uk.reuters.com/article/uk-bp-deepwaterhorizon/bp-deepwater-horizon-costs-balloon-to-65-billion-idUKKBN1F50O6>. Acesso em: 14/04/2020.

SINTEF. **This is what you need to know about CCS – Carbon Capture and Storage**. 2019. Disponível em: <https://www.sintef.no/en/latest-news/this-is-what-you-need-to-know-about-ccs-carbon-capture-and-storage/>. Acesso em: 03/02/2020.

SPE. **Challenges in Reusing Produced Water**. Disponível em: <https://www.spe.org/en/industry/challenges-in-reusing-produced-water/>. Acesso em: 25/09/2019.

SPE. **In-Situ Molecular Manipulation**. Disponível em: <https://www.spe.org/en/industry/in-situ-molecular-manipulation/>. Acesso em: 25/09/2019.

SPE. **Increasing Hydrocarbon Recovery Factors**. Disponível em: <https://www.spe.org/en/industry/increasing-hydrocarbon-recovery-factors/>. Acesso em: 25/09/2019.

SPE. **Society of Petroleum Engineers Grand Challenge: Carbon Capture and Sequestration**. 2016. Disponível em: <https://www.spe.org/en/industry/carbon-capture-sequestration-2016/>. Acesso em: 30/11/2019.

WYATT, F. J. **7 Key Operational Excellence Challenges Facing the Oil and Gas Industry**. Disponível em: <https://medium.com/business-process-management-software-comparisons/7-key-operational-excellence-challenges-facing-the-oil-and-gas-industry-775fec5009f5>. Acesso em: 03/02/2020.

ACCENTURE. **SAP S/4HANA Cloud for upstream oil and gas**. Disponível em: <https://www.accenture.com/us-en/services/energy/sap-hana-cloud-upstream-oil-gas>. Acesso em: 14/06/2020.

AP NEWS. **Saudi Aramco Energy Ventures Invests in Norwegian Artificial Intelligence Software Provider Earth Science Analytics.** 2019. Disponível em: <https://apnews.com/Business%20Wire/34654572211948c48dac21db195304c0>. Acesso em: 14/05/2020.

BP. **BP's Advancing Low Carbon accreditation programme activity table.** 2019. Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/sustainability/alc-programme/bp-alc-activity-table.pdf>. Acesso em: 14/06/2020.

BUDINIS, S. *et al.* **An assessment of CCS costs, barriers and potential.** 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X18300634>. Acesso em: 23/07/2020.

DRILLING CONTRACTOR. **Seadrill launches AI-enabled safety technology to monitor Red Zone.** 2019. Disponível em: <https://www.drillingcontractor.org/seadrill-launches-ai-enabled-safety-technology-to-monitor-red-zone-53266>. Acesso em: 18/04/2020.

FORTUNE. **Global 500.** 2019. Disponível em: <https://fortune.com/global500/2019/search/?revenues=desc§or=Energy>. Acesso em: 05/06/2020.

GLOBE NEWS WIRE. **Saudi Aramco and AKER ASA collaboration on 4th industrial revolution addressing sustainability and green environment.** 2019. Disponível em: <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/10/29/1937294/0/en/Saudi-Aramco-and-AKER-ASA-collaboration-on-4th-industrial-revolution-addressing-sustainability-and-green-environment.html>. Acesso em: 14/05/2020.

GREEN PEACE. **How Tech Companies are Helping Big Oil Profit from Climate Destruction.** 2020. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/usa/reports/oil-in-the-cloud/>. Acesso em: 29/05/2020.

HOUSTON CHRONICLE. **Saudi Aramco's venture arm pumps cash into startups seeking to reshape the energy industry.** 2019. Disponível em: <https://www.houstonchronicle.com/business/article/Saudi-Aramco-s-venture-arm-pumps-cash-into-13958713.php#photo-17636206>. Acesso em: 10/06/2020.

IDC. **IDC MarketScape: Worldwide Artificial Intelligence Services 2019 Vendor Assessment**. 2019. Disponível em: <https://www.cognizant.com/ai/pdf/idc-marketplace-ai-assessment-2019.pdf>. Acesso em: 05/06/2020.

MAANA. **Maana Raises \$26 Million Series B Strategic Investment Round Led by Saudi Aramco Energy Ventures**. 2016. Disponível em: <https://www.maana.io/press-releases/maana-raises-26-million-series-b-strategic-investment-round-led-by-saudi-aramco-energy-ventures/>. Acesso em: 03/07/2020.

OIL AND GAS MIDDLE EAST. **Top 30 Oilfield Services Companies 2019**. 2019. Disponível em: <https://www.oilandgasmiddleeast.com/lists/top-30-oilfield-services-companies-2019>. Acesso em: 23/03/2020.

OIL REVIEW MIDDLE EAST. **Saudi Aramco Energy Ventures joins leading firms to invest US\$24mn in Seeq**. 2020. Disponível em: <http://www.oilreviewmiddleeast.com/industry/saudi-aramco-energy-ventures-joins-leading-firms-to-invest-us-24mn-in-seeq>. Acesso em: 23/07/2020.

PETROBRAS. **Sustainability 2018**. 2019. Disponível em: https://issuu.com/estantepetrobras/docs/sustainability_2018. Acesso em: 17/04/2020.

USA TODAY. **Employee activism isn't stopping Big Tech's pursuit of Big Oil**. 2019. Disponível em: <https://www.usatoday.com/story/tech/2019/10/02/microsoft-amazon-google-oil-gas-partnerships/3839379002/>. Acesso em: 05/06/2020.

WORLD OIL. **Schlumberger deploys its DELFI cognitive E&P environment for Woodside Energy**. 2019. Disponível em: <https://www.worldoil.com/news/2019/8/21/schlumberger-deploys-its-delfi-cognitive-ep-environment-for-woodside-energy>. Acesso em: 03/03/2020

BAKER HUGHES C3.AI. **BHC3 Production Optimization**. Disponível em: <https://bakerhughesc3.ai/products/production-optimization/#benefits>. Acesso em: 15/04/2020.

DELOITTE. **Sobre a Deloitte**. Disponível em: https://www2.deloitte.com/br/pt/footerlinks/about-deloitte.html?icid=bottom_about-deloitte. Acesso em: 14/06/2020.

DELOITTE. **2020 oil, gas, and chemical industry outlook**. 2020a. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/energy-resources/us-2020-outlook-ogc.pdf>. Acesso em: 02/05/2020.

DELOITTE. **Top issues faced by the Brazilian Oil & Gas industry.** 2020b. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/br/en/pages/energy-and-resources/upstream-guide/articles/top-issues-oil-gas-brazil.html>. Acesso em: 03/04/2020.

EY. **Is AI the fuel oil and gas needs?** 2019. Disponível em: <https://www.ey.com/enjo/oil-gas/is-ai-the-fuel-oil-and-gas-needs>. Acesso em: 23/03/2020.

IHS MARKIT. **Leveraging AI, IHS Markit Delivers Industry's Most Accurate, Comprehensive Production Forecast Analytics for Every Producing Oil and Gas Well in North America.** 2019. Disponível em: http://news.ihsmarket.com/prviewer/release_only/slug/corporate-leveraging-ai-ihs-markit-delivers-industrys-most-accurate-comprehensive-prod. Acesso em: 15/04/2020.

INFINITI RESEARCH. **About Infiniti.** Disponível em: <https://www.infinitiresearch.com/about-us>. Acesso em: 05/06/2020.

INFINITI RESEARCH. **BIGGEST CHALLENGES FACING THE OIL AND GAS COMPANIES IN 2019.** 2019. Disponível em: https://www.infinitiresearch.com/thoughts/challenges-oil-gas-industry-2019?utm_source=BGWeek27&utm_medium=businesswireWeek27&utm_campaign=businesswireBGWeek27. Acesso em: 14/04/2020.

LINKEDIN. **EY.** Disponível em: <https://www.linkedin.com/company/ernstandyoung/about/>. Acesso em: 05/05/2020.

LINKEDIN. **LUX RESEARCH.** Disponível em: <https://www.linkedin.com/company/lux-research/about/>. Acesso em: 14/04/2020.

LINKEDIN. **PLS Logistics Services.** Disponível em: <https://www.linkedin.com/company/pls-logistics-services/about/>. Acesso em: 14/04/2020.

LLOYD'S REGISTER (LR). **Bringing data science to safety.** Disponível em: <https://www.lr.org/en/aurora/safetyscanner/>. Acesso em: 16/04/2020.

LUX RESEARCH. **4 FACTORS FORCING REINVENTION FOR OIL & GAS IN THE DIGITAL AGE.** 2019. Disponível em: <https://www.luxresearchinc.com/blog/4-factors-forcing-reinvention-for-oil-gas-in-the-digital-age>. Acesso em: 03/04/2020.

PETROBRAS. **Novo sistema usa inteligência artificial para aumentar a segurança.** 2019. Disponível em: <https://nossaenergia.petrobras.com.br/pt/energia/novo-sistema-usa-inteligencia-artificial-para-aumentar-a-seguranca/>. Acesso em: 03/05/2020.

PLS LOGISTICS SERVICES. **3 Main Challenges of Oil and Gas Industry.** 2019. Disponível em: <https://www.plslogistics.com/blog/3-main-challenges-of-oil-and-gas-industry/>. Acesso em: 14/04/2020.

VALIDERE. **Validere for Producers.** Disponível em: <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2999764/Brochure/Validere%20Producers.pdf>. Acesso em: 05/06/2020.

AMINI, S.; MOHAGHEGH, S. **Application of Machine Learning and Artificial Intelligence in Proxy Modeling for Fluid Flow in Porous Media.** 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-5521/4/3/126>. Acesso em: 09/05/2020.

BAKER HUGHES C3.AI. **Optimize upstream production, lower cost-per-barrel, and enhance safety.** Disponível em: <https://bakerhughesc3.ai/sectors/upstream/>. Acesso em: 05/06/2020.

BAKER HUGHES C3.AI. **Predict Assets at Risk of Failure to Improve Maintenance and Planning.** Disponível em: <https://bakerhughesc3.ai/products/bhc3-predictive-maintenance/#%3A~%3Atext%3DBHC%20Predictive%20Asset%20Maintenance%E2%84%A2%2Cgeographically%20spread%20portfolio%20of%20assets>. Acesso em: 27/06/2020.

BUSINESS WIRE. **Accenture Teams with SAP to Develop Cloud Solution to Digitally Transform Oil and Gas Upstream Operations.** 2018. Disponível em: <https://www.businesswire.com/news/home/20180918005108/en/Accenture-Teams-SAP-Develop-Cloud-Solution-Digitally>. Acesso em: 03/06/2020.

DATA ROBOT. **Oil and Gas.** Disponível em: <https://www.datarobot.com/solutions/oil-and-gas/>. Acesso em: 14/06/2020.

TOTAL. **BRAZIL: TOTAL AND PETROBRAS TAKE NEW STEPS FORWARD IN THE SCOPE OF THEIR STRATEGIC ALLIANCE.** Disponível em: <https://www.total.com/media/news/press-releases/brazil-total-and-petrobras-take-new-steps-forward-scope-their-strategic-alliance>. Acesso em: 07/10/2020.

GIRO, R. *et al.* **Artificial Intelligence-Based Screening of Enhanced Oil Recovery Materials for Reservoir-Specific Applications.** 2019. Disponível em: https://www.onepetro.org/conference-paper/OTC-29754-MS?sort=&start=0&q=ARTIFICIAL+INTELLIGENCE+ENHANCED+OIL+RECOVERY&from_year=&peer_reviewed=&published_between=&fromSearchResults=true&to_year=&rows=25. Acesso em: 21/05/2020.

IDEAL. **Efficiently manage thousands of applications.** Disponível em: <https://ideal.com/product/>. Acesso em: 14/06/2020.

INTEL. **Intel Partner Similarity Delivers AI Software for Asset Monitoring.** Disponível em: <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/solution-briefs/similarity-ai-software-for-asset-management-solution-brief.pdf>. Acesso em: 27/05/2020.

IPTC. **IPTC.** Disponível em: <http://www.iptcnet.org/>. Acesso em: 23/07/2020.

KPMG. **Oil & Gas Industry: 2019 Trends.** Disponível em: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ar/pdf/pg-industria-del-pg-tendencias-para-2019-eng.pdf>. Acesso em: 02/05/2020.

KPMG. **Overview.** Disponível em: <https://home.kpmg/br/en/home/about/overview.html>. Acesso em: 03/07/2020.

NIKOOKAR, M. *et al.* **Efficient Screening of Enhanced Oil Recovery Methods and Predictive Economic Analysis.** 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264553929_Efficient_Screening_of_Enhanced_Oil_Recovery_Methods_and_Predictive_Economic_Analysis. Acesso em: 05/04/2020.

SARATIX. **Health, Safety & Environment.** Disponível em: <https://saratix.com/solutions-oil-gas-hse/>. Acesso em: 04/07/2020.

SOLUTION SEEKER. **OPTIMIZATION - THE CONTINUOUS SEARCH FOR MAXIMUM.** Disponível em: <https://www.solutionseeker.no/technology/optimizing>. Acesso em: 25/05/2019.

SP GLOBAL. **S&P Podcast – Economic Recovery Will Guide US Ad Market.** 2020. Disponível em: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/blog/sp-podcast-economic-recovery-will-guide-us-ad-market>. Acesso em: 20/07/2020.

WORLD PETROLEUM COUNCIL (WPC). **Introduction**. Disponível em: <https://www.world-petroleum.org/about-us/introduction>. Acesso em: 20/07/2020.

ALMATOUQ, H.; ALABBAD, M.; ANIFOWOSE, F. **An Artificial Intelligence Approach to Predict Molar Compositions of Reservoir Fluid Components**. 2019. Disponível em: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-198555-MS>. Acesso em: 12/05/2020.

AQUATECH. **EU PROJECT RESULTS SHOW PROMISE FOR WATER REUSE IN OIL & GAS**. 2019. Disponível em: <https://www.aquatechtrade.com/news/industrial-water/water-reuse-in-oil-gas-looks-promising/>. Acesso em: 24/07/2020.

ATOS. **Artificial Intelligence: it's time for implementation**. Disponível em: <https://atos.net/en/solutions/codex-ai-suite>. Acesso em: 23/07/2020.

ATOS. **The motherlode**. 2019. Disponível em: <https://atos.net/wp-content/uploads/2019/11/atos-the-motherlode-data-drives-efficiency-in-oil-and-gas-case-study.pdf>. Acesso em: 16/07/2020.

DOMAIN-B. **Wipro to acquire SAIC's oil and gas IT business for around \$150 million**. 2011. Disponível em: https://www.domain-b.com/companies/companies_w/Wipro/20110401_it_business.html. Acesso em: 10/05/2020.

GALP. **Galp and IBM build cutting-edge Artificial Intelligence advisor to speed-up appraisal of oil and gas prospects and discoveries**. 2018. Disponível em: <https://www.galp.com/corp/en/media/press-releases/press-release/id/834/galp-and-ibm-build-cutting-edge-artificial-intelligence-advisor-to-speed-up-appraisal-of-oil-and-gas-pros>. Acesso em: 19/07/2020.

HART ENERGY. **How Grounded AI Could Save \$1 Billion in the Permian Water Sector**. 2019. Disponível em: <https://www.hartenergy.com/exclusives/how-grounded-ai-could-save-1-billion-permian-water-sector-182885>. Acesso em: 30/07/2020.

INTEGROIL. **Water reuse in the Oil & Gas sector**. Disponível em: <https://integroil.eu/workpackages/>. Acesso em: 14/07/2020.

INTELLIGENT SOLUTIONS. **Top-Down, Intelligent Reservoir Models™**. Disponível em: <http://www.intelligentsolutionsinc.com/Technology/TDM.shtml>. Acesso em: 04/06/2020.

PLUTOSHIFT. **3 Ways Grounded A.I. Is Reducing Water Strain In The Permian Basin.** Disponível em: <https://plutoshift.com/3-ways-grounded-a-i-is-reducing-water-strain-in-the-permian-basin/>. Acesso em: 14/07/2020.

PLUTOSHIFT. **Deep Learning and the Water Industry.** Disponível em: <https://plutoshift.com/deep-learning-and-the-water-industry/>. Acesso em: 26/07/2020.

RUSSIAN DIRECT INVESTMENT FUND (RDIF). **RDIF, Sberbank, Gazprom Neft, Yandex, Mail.ru and MTS create AI-Russia Alliance.** 2019. Disponível em: https://rdif.ru/Eng_fullNews/4632/. Acesso em: 17/06/2020.

SIGMA FLOW. **Partnership with Wipro.** 2012. Disponível em: <https://www.sigmaflow.com/sigmaflow-announces-global-partnership-wipro-bring-best-class-well-delivery-solution-oil-gas-industry/>. Acesso em: 06/07/2020.

WATER TECHNOLOGY. **Smart membrane products: Kevin Costner, Water Planet team up to advance sustainable water reuse.** 2017. Disponível em: <https://www.watertechonline.com/wastewater/article/16212697/smart-membrane-products-kevin-costner-water-planet-team-up-to-advance-sustainable-water-reuse>. Acesso em: 05/07/2020.

WORLD OIL. **Gazprom Neft, IBM Research Brazil enhance geological processing with AI.** 2019. Disponível em: <https://www.worldoil.com/news/2019/4/3/gazprom-neft-ibm-research-brazil-enhance-geological-processing-with-ai>. Acesso em: 27/07/2020.

ZHENG, H. *et al.* **Numerical Simulation of In Situ Combustion of Oil Shale.** 2017. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/geofluids/2017/3028974/>. Acesso em: 02/05/2020.

COGNIZANT. **Cognizant Operations Intelligence Platform™.** Disponível em: <https://www.cognizant.com/operations-intelligence-platform-oil-gas>. Acesso em: 11/04/2020.

CRN. **5 Things To Know About IBM Watson On AWS, Azure, Google.** 2019. Disponível em: <https://www.crn.com/slide-shows/cloud/5-things-to-know-about-ibm-watson-on-aws-azure-google>. Acesso em: 20/08/2020.

DELOITTE. **Breakthrough technology for oil reservoir optimization.** Disponível em: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/consulting/solutions/enhanced-oil-recovery-digital-oilfields.html>. Acesso em: 03/06/2020.

DELOITTE. **Deloitte and Foroil deploy digital oil recovery to increase recovery from brownfields.** Disponível em: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/about-deloitte/articles/press-releases/deloitte-and-foroil-deploy-digital-oil-recovery-to-increase-recovery-from-brownfields>. Acesso em: 14/06/2020.

DELOITTE. **Digital Oil, Gas & Chemicals.** Disponível em: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/consulting/solutions/digital-oil-and-gas.html>. Acesso em: 03/05/2020.

EY. **Intelligent asset management.** Disponível em: https://www.ey.com/en_zs/oil-gas/intelligent-asset-management. Acesso em: 20/06/2020.

HCL. **Oil and Gas.** Disponível em: <https://www.hcltech.com/oil-and-gas>. Acesso em: 03/07/2020.

HCL. **Worker Safety.** Disponível em: <https://www.hcltech.com/Internet-of-Things-IoT/our-solutions/worker-safety>. Acesso em: 28/06/2020.

IBM. **IBM COGNITIVE HR FOR ENERGY.** Disponível em: <https://www.ibm.com/downloads/cas/EMQGVMOL>. Acesso em: 05/05/2020.

IBM. **Woodside Energy.** Disponível em: <https://www.ibm.com/case-studies/woodside-energy-watson-cognitive>. Acesso em: 14/06/2020.

IBM. **The time for small experiments is over. AI is now scaling across the enterprise.** 2019. Disponível em: <https://www.ibm.com/annualreport/2019/ai.html#energy>. Acesso em: 18/06/2020.

NS ENERGY. **Seadrill selects TCS to drive global IT transformation.** 2019. Disponível em: <https://www.nsenergybusiness.com/news/seadrill-selects-tcs-to-drive-global-it-transformation/>. Acesso em: 15/06/2020.

OFFSHORE ENERGY. **Cognizant Becomes Aker's Services Partner.** 2016. Disponível em: <https://www.offshore-energy.biz/cognizant-becomes-akers-services-partner/>. Acesso em: 19/06/2020.

POWER OBJECTS. **Digital Transformation for Oil and Gas.** Disponível em: <https://powerobjects.com/practice-areas/oil-and-gas/>. Acesso em: 20/06/2020.

WIPRO. **Wipro HOLMES E&P report digitization.** Disponível em: <https://www.wipro.com/en->

BR/oil-and-gas/wipro-holmes-e-and-p-report-digitization/. Acesso em: 14/04/2020.

WOODSIDE. Since establishing a foundation data science and cognitive intelligence team in 2015, we have made rapid progress. Disponível em: <https://www.woodside.com.au/innovation/data-science>. Acesso em: 11/05/2020.

ACCENTURE. Accenture Teams with SAP to Develop Cloud Solution to Digitally Transform Oil and Gas Upstream Operations. 2018. Disponível em: <https://newsroom.accenture.com/news/accenture-teams-with-sap-to-develop-cloud-solution-to-digitally-transform-oil-and-gas-upstream-operatihtm>. Acesso em: 03/02/2020.

AP NEWS. Global AI in Oil and Gas Market 2016 to 2025 - Featuring IBM, Intel, Accenture & Google Among Others - ResearchAndMarkets.com. 2020. Disponível em: <https://apnews.com/Business%20Wire/59e21fa79a8c4bc9bb4d3ec187cba200>. Acesso em: 03/07/2020.

CISCO. Oil and gas. Disponível em: https://www.cisco.com/c/es_mx/solutions/industries/energy/connected-oil-gas.html#~:stickynav=2. Acesso em: 17/04/2020.

CISCO. Wood, Roue and Cisco Open Oil and Gas Center in Mexico. 2018. Disponível em: <https://newsroom.cisco.com/press-release-content?type=webcontent&articleId=1922929&dtid=ossdc000283>. Acesso em: 03/07/2020.

GALP. Galp and IBM build cutting-edge Artificial Intelligence advisor to speed-up appraisal of oil and gas prospects and discoveries. 2018. Disponível em: <https://www.galp.com/corp/en/media/press-releases/press-release/id/834/galp-and-ibm-build-cutting-edge-artificial-intelligence-advisor-to-speed-up-appraisal-of-oil-and-gas-pros>. Acesso em: 03/04/2020.

GPN. GAZPROM NEFT AND IBM RESEARCH BRAZIL ARE USING AI TO IMPROVE QUALITY IN PROCESSING GEOLOGICAL INFORMATION. 2019. Disponível em: <https://ntc.gazprom-neft.com/press-center/news/gazprom-neft-i-ibm-research-brazil-povyshayut-kachestvo-obrabotki-geologicheskoy-informatsii-s-pomo>. Acesso em: 25/06/2020.

IBM. Energy transition reshapes the oil and gas industry. Disponível em: <https://www.ibm.com/industries/oil-gas>. Acesso em: 10/06/2020.

IBM. Use analytics and AI to turn big data into insights. Disponível em: <https://www.ibm.com/industries/oil-gas/big-data-analytics>. Acesso em: 08/01/2020.

IBM. IBM and Repsol Launch World's First Cognitive Technologies Collaboration for Oil Industry Applications. 2014. Disponível em: <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/45278.wss>. Acesso em: 09/04/2020.

IMC. IBM and Flotek use machine learning to aid oil and gas industry. 2017. Disponível em: <https://www.iotm2mcouncil.org/ibmflot>. Acesso em: 03/07/2020.

INFOSYS. Being Resilient. That's Live Enterprise. Navigate your next in Oil and Gas. Disponível em: <https://www.infosys.com/industries/oil-and-gas/overview.html>. Acesso em: 14/04/2020.

ABB. ABB partners with Huawei for industrial cloud in China. 2019. Disponível em: <https://new.abb.com/news/detail/33111/abb-partners-with-huawei-for-industrial-cloud-in-china>. Acesso em: 16/04/2020.

ABB. Groundbreaking ABB technology improves operation of Draugen offshore platform. 2020. Disponível em: <https://new.abb.com/news/detail/56793/groundbreaking-abb-technology-improves-operation-of-draugen-offshore-platform>. Acesso em: 05/06/2020.

GOOGLE. Energy. Disponível em: <https://cloud.google.com/solutions/energy>. Acesso em: 09/02/2020.

GOOGLE CLOUD. GOOGLE CLOUD AND COGNITE: CREATING REAL-TIME MODELS OF AKER BP. 2018. Disponível em: <https://www.iotsworldcongress.com/google-cloud-and-cognite-creating-real-time-models-of-aker-bp/>. Acesso em: 23/06/2020.

MICROSOFT. Azure for the energy industry. Disponível em: <https://azure.microsoft.com/en-us/industries/energy/>. Acesso em: 05/06/2020.

ORACLE. Machine Learning + Big Data in the Cloud. Disponível em: <https://www.oracle.com/big-data/>. Acesso em: 05/06/2020.

ORACLE. **Oracle Artificial Intelligence (AI)**. Disponível em: <https://www.oracle.com/artificial-intelligence/>. Acesso em: 07/06/2020.

ORACLE. **Oracle in the Exploration and Production Sector**. Disponível em: <https://www.oracle.com/industries/oil-and-gas/exploration-production.html>. Acesso em: 08/04/2020.

PR NEWSWIRE. **SparkCognition Partners with Siemens To Advance Industrial Market**. 2018. Disponível em: <https://www.prnewswire.com/news-releases/sparkcognition-partners-with-siemens-to-advance-industrial-market-300692697.html>. Acesso em: 23/03/2020.

SIEMENS. **Featured Partners**. Disponível em: <https://siemens.mindsphere.io/en/partner/featured-partners.html.html>. Acesso em: 03/04/2020.

SIEMENS. **Integrated Solutions for Unconventional Challenges**. Disponível em: <https://new.siemens.com/global/en/markets/oil-gas/upstream/unconventional-resources.html>. Acesso em: 14/04/2020.

SIEMENS. **Topsides 4.0**. Disponível em: <https://new.siemens.com/global/en/markets/oil-gas/upstream/topsides.html>. Acesso em: 18/04/2020.

THE TELEGRAPH. **Google refuses to build AI to extract oil and distances itself from the industry**. 2020. Disponível em: <https://www.telegraph.co.uk/technology/2020/05/19/google-refuses-build-ai-oil-gas-companies/>. Acesso em: 05/06/2020.

WEATHERFORD. **COLLABORATION AND PARTNERSHIP**. Disponível em: <https://www.weatherford.com/en/about-us/collaboration-and-partnership/>. Acesso em: 03/05/2020.

WEATHERFORD. **Drive Continuous Production Performance**. Disponível em: <https://www.weatherford.com/en/products-and-services/production/production-4-0/iot-enabled-automation/>. Acesso em: 25/01/2020.

WORLD OIL. **Weatherford Vero automated connection integrity successfully completes 100 runs**. 2020. Disponível em: <https://www.worldoil.com/news/2020/4/22/weatherford-vero-automated-connection-integrity-successfully-completes-100-runs>. Acesso em: 25/05/2020.

INFOSYS. **Streamline data management across the upstream value chain.** Disponível em: <https://www.infosys.com/industries/oil-and-gas/industry-offerings/upstream-data-management.html>. Acesso em: 23/06/2020.

INTEL. **Energy.** Disponível em: <https://www.intel.com/content/www/us/en/artificial-intelligence/energy.html>. Acesso em: 14/05/2020.

MORDOR INTELLIGENCE. **AI IN OIL AND GAS MARKET - GROWTH, TRENDS, AND FORECAST (2020 - 2025).** 2019. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/ai-market-in-oil-and-gas>. Acesso em: 15/04/2020.

NVIDIA. **FUELING INNOVATION IN ENERGY.** Disponível em: <https://www.nvidia.com/en-us/industries/energy/>. Acesso em: 14/04/2020.

SAP. **International SAP Conference for Oil and Gas.** 2019. Disponível em: https://www.tacevents.com/fileadmin/user_upload/Events/2_UK/Events_2019/SAP_Oil_Gas/OIL_AND_GAS_2019.pdf. Acesso em: 05/05/2020.

ABB. **ABB and OKEA digital partnership.** Disponível em: <https://new.abb.com/oil-and-gas/digital/okea-digital-partnership>. Acesso em: 02/06/2020.

ABB. **Our technology approach is refreshingly simple.** Disponível em: <https://ability.abb.com/about/technology/>. Acesso em: 06/04/2020.

AI THORITY. **Halliburton And Repsol Sign Cloud Data Management Agreement For Exploration And Production.** 2019. Disponível em: <https://aithority.com/internet-of-things/halliburton-and-repsol-sign-cloud-data-management-agreement-for-exploration-and-production/>. Acesso em: 07/02/2020.

AWS. **Parceiros de energia da AWS.** Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/energy/partners/>. Acesso em: 23/06/2020.

BAKER HUGHES. **C3.ai, Microsoft, Baker Hughes announce artificial intelligence partnership for Oil and Gas industry.** Disponível em: <https://investors.bakerhughes.com/news-releases/news-release-details/bhge-and-c3ai-announce-release-first-ai-application-bhc3%20https://bakerhughesc3.ai/c3-ai-microsoft-baker-hughes-announce-artificial-intelligence-partnership-for-oil-and-gas-industry/>. Acesso em: 10/07/2020.

BAKER HUGHES C3.AI. **Introducing BakerHughesC3.ai.** Disponível em: <https://bakerhughesc3.ai/company/>. Acesso em: 15/04/2020.

EMERSON. **Emerson Accelerates Digital Transformation of Oil & Gas Industry with Cloud-Hosted Software Suite on Microsoft Azure.** Disponível em: <https://www.emerson.com/en-us/news/corporate/emerson-accelerates-digital-transformation-w-azure-cloud-suite>. Acesso em: 10/01/2020.

EMERSON. **Emerson and Total Sign Long-Term Global Agreement for Paradigm Exploration & Production Software Solutions.** 2018. Disponível em: <https://www.emerson.com/en-us/news/automation/1803-total>. Acesso em: 05/02/2020.

EMERSON. **Emerson and Repsol to Form Alliance on Advanced, Cloud-Based Exploration and Development Software.** 2019a. Disponível em: <https://www.emerson.com/en-gb/news/corporate/emerson-and-repsol-to-form-alliance>. Acesso em: 14/01/2020.

EMERSON. **Emerson's Exploration and Production Software Suite Drives Customer Success Using Accelerated Automation and Cloud Hosting.** 2019b. Disponível em: <https://www.emerson.com/en-us/news/automation/2001-exploration-production-software-paradigm>. Acesso em: 03/06/2020.

MICROSOFT. **Oil and gas experts use machine learning to deploy predictive analytics at the edge.** 2017. Disponível em: <https://customers.microsoft.com/en-us/story/schneider-electric-process-mfg-resources-azure-machine-learning>. Acesso em: 05/03/2020.

NOV. **GoConnect Real-Time Data Analytics.** Disponível em: <https://www.nov.com/products/goconnect-real-time-data-analytics>. Acesso em: 14/03/2020.

NOV. **KAIZEN Intelligent Drilling Optimizer.** Disponível em: <https://www.nov.com/products/kaizen-intelligent-drilling-optimizer>. Acesso em: 11/02/2020.

NVIDIA. **AI: FUELING NEW EFFICIENCIES IN OIL AND GAS.** 2018. Disponível em: <https://www.nvidia.com/content/dam/en-zz/Solutions/Data-Center/dgx-1/dl-oil-n-gas-bhge-infographic.pdf>. Acesso em: 23/06/2020.

POWER OBJECTS. **National Oilwell Varco**. Disponível em: <https://powerobjects.com/case-studies/nov-case-study/>. Acesso em: 03/04/2020.

WEIR. **Weir announces its innovative IIoT platform Synertrex®**. 2018. Disponível em: <https://www.global.weir/newsroom/news-articles/weir-minerals-announces-its-innovative-iiot-platform-synertrex/>. Acesso em: 23/07/2020.

ACCENTURE. **Accenture and SAP Launch Upstream Oil and Gas Solution to Help Streamline Processes and Costs**. 2020. Disponível em: <https://newsroom.accenture.com/news/accenture-and-sap-launch-upstream-oil-and-gas-solution-to-help-streamline-processes-and-costs.htm>. Acesso em: 23/06/2020.

COMPUTER WEEKLY. **IBM and Shell use data analytics to find more oil and gas**. 2010. Disponível em: <https://www.computerweekly.com/news/1280092221/IBM-and-Shell-use-data-analytics-to-find-more-oil-and-gas>. Acesso em: 03/02/2020.

GPN. **Gazprom Neft signs cooperation agreement with Yandex**. 2017. Disponível em: <https://www.gazprom-neft.com/press-center/news/gazprom-neft-signs-cooperation-agreement-with-yandex/>. Acesso em: 14/04/2020.

GPN. **Gazprom Neft becomes the first industrial company to join the AI-Russia Alliance for developing artificial intelligence (AI)**. 2019. Disponível em: <https://www.gazprom-neft.com/press-center/news/gazprom-neft-becomes-the-first-industrial-company-to-join-the-ai-russia-alliance-for-developing/>. Acesso em: 14/04/2020.

HUAWEI. **HUAWEI CLOUD Launched EI Cluster Service and Industrial Intelligent Twins**. 2019. Disponível em: <https://intl.huaweicloud.com/en-us/news/huawei-cloud-empowers-digital-transformation-of-industries-in-la/huawei-cloud-launched-ei-cluster-service-and-industrial-intellig.html>. Acesso em: 25/06/2019.

LANDMARK. **SmartDigital™**. Disponível em: <https://www.landmark.solutions/SmartDigital>. Acesso em: 12/03/2020.

LANDMARK. **Microsoft and Halliburton Collaborate to Digitally Transform the Oil and Gas Industry.** 2017. Disponível em: <https://www.landmark.solutions/Microsoft-and-Halliburton-Collaborate>. Acesso em: 03/05/2020.

MICROSOFT. **BP embraces digital transformation and the cloud to disrupt the energy industry.** 2019a. Disponível em: <https://customers.microsoft.com/en-us/story/724142-bp-digital-transformation-energy-azure>. Acesso em: 04/03/2020.

MICROSOFT. **Schlumberger, Chevron and Microsoft announce collaboration to accelerate digital transformation.** 2019b. Disponível em: <https://news.microsoft.com/2019/09/17/schlumberger-chevron-and-microsoft-announce-collaboration-to-accelerate-digital-transformation/>. Acesso em: 05/05/2020.

SCHLUMBERGER. **Cognitive Technology in DELFI.** Disponível em: <https://www.software.slb.com/delfi/cognitive>. Acesso em: 03/05/2020.

SCHLUMBERGER. **Schlumberger Announces DELFI Cognitive E&P Environment.** 2017. Disponível em: <https://www.slb.com/newsroom/press-release/2017/pr-2017-0913-delfi>. Acesso em: 05/04/2020.

SCHLUMBERGER. **Schlumberger and Dataiku Technology Partnership Will Enable Enterprise-Scale Artificial Intelligence in E&P.** 2019a. Disponível em: <https://www.slb.com/newsroom/press-release/2019/pr-2019-1211-sis-dataiku-partnership>. Acesso em: 23/04/2020.

SCHLUMBERGER. **Schlumberger and TIBCO Collaborate to Provide Advanced Analytics in the DELFI Environment.** 2019b. Disponível em: <https://www.slb.com/newsroom/press-release/2019/pr-2019-0926-slb-tibco-delfi>. Acesso em: 23/06/2020.

SCHLUMBERGER. **Schlumberger, Chevron and Microsoft Announce Collaboration to Accelerate Digital Transformation.** 2019c. Disponível em: <https://www.slb.com/newsroom/press-release/2019/pr-2019-0917-slb-sis-microsoft-chevron>. Acesso em: 08/02/2020.

SHELL. SHELL.AI RESIDENCY PROGRAMME. Disponível em: <https://www.shell.com/energy-and-innovation/digitalisation/digital-technologies/shell-ai/shell-ai-residency-programme.html#vanity-aHR0cHM6Ly93d3cuc2h1bGwuY29tL2VuZXJneS1hbmQtaW5ub3ZhdGlubi9vdmVyY29taW5nLXRlY2hub2xvZ3ktY2hhbGxlbmdley9kaWdpdGFsLWlubm92YXRpb24vYXJ0aWZpY2lhbC1pbnRlbGxpZ2VuY2UvYWR2YW5jaW5nLXR0ZS1kaWdpdGFsLXJldm9sdXRpb24uaHRtbA>. Acesso em: 23/07/2020.

TOTAL. TOTAL TO DEVELOP ARTIFICIAL INTELLIGENCE SOLUTIONS WITH GOOGLE CLOUD. 2018. Disponível em: <https://www.total.com/media/news/press-releases/total-develop-artificial-intelligence-solutions-google-cloud>. Acesso em: 03/02/2020.

ALBERTSON, M. Halliburton teams up with Dell to move oil industry into the hyperconverged world. 2019. Disponível em: <https://siliconangle.com/2019/05/02/halliburton-teams-up-with-dell-to-move-oil-industry-into-the-hyperconverged-world-delltechworld/>. Acesso em: 03/04/2020.

ALI, U. BP invests in digital energy management platform. 2019. Disponível em: <https://www.power-technology.com/news/bp-digital-energy-platform/>. Acesso em: 07/05/2020.

DIGITAL TWIN. SINOPEC AWARDS EDRILLING DECISION SUPPORT SOFTWARE CONTRACT. 2020. Disponível em: <https://www.digital-twin.no/2020/01/21/sinopeccontract/>. Acesso em: 27/03/2020.

DUCKETT, A. BP invests in AI to accelerate upstream projects. 2019. Disponível em: <https://www.thechemicalengineer.com/news/bp-invests-in-ai-to-accelerate-upstream-projects/>. Acesso em: 07/06/2020.

ENERGY FACTOR. FOCUS ON TECHNOLOGY: UPSTREAM ADVANCES. 2017. Disponível em: <https://energyfactor.exxonmobil.com/perspectives/focus-technology-upstream-advances/>. Acesso em: 18/04/2020.

EURO PETROLE. **Gazprom Neft and ADNOC conclude a Framework Agreement on Strategic Cooperation in oil and gas.** 2019. Disponível em: <https://www.euro-petrole.com/gazprom-neft-and-adnoc-conclude-a-framework-agreement-on-strategic-cooperation-in-oil-and-gas-n-i-> Acesso em: 12/04/2020.

EXXONMOBIL. **2018 FINANCIAL & OPERATING REVIEW.** 2018. Disponível em: <https://corporate.exxonmobil.com/-/media/Global/Files/annual-report/2018-Financial-and-Operating-Review.pdf>. Acesso em: 02/02/2020.

HART ENERGY. **OTC Extra: Smart ESPs: Putting AI, Cloud Technologies To Work In DigitalCloud Technologies.** Disponível em: <https://www.hartenergy.com/exclusives/otc-extra-smart-esps-putting-ai-cloud-technologies-work-digital-oilfield-31010#p=full>. Acesso em: 25/07/2020.

HYDROCARBONS TECHNOLOGY. **QRI and Emerson partner on AI-based oil and gas E&P analytics.** 2020. Disponível em: <https://www.hydrocarbons-technology.com/news/qri-emerson-ai-analytics/>. Acesso em: 03/08/2020.

IBM. **Extracting the lifeblood of AI at ExxonMobil.** 2019. Disponível em: <https://www.ibm.com/blogs/journey-to-ai/2019/09/extracting-the-lifeblood-of-ai-at-exxonmobil/>. Acesso em: 05/05/2020.

MEDIUM. **Smart Oil Platform Strikes Multiple Benefits with AI.** 2019. Disponível em: <https://medium.com/bcggamma/smart-oil-platform-strikes-multiple-benefits-with-ai-da8824eeabc1>. Acesso em: 03/02/2020.

MICROSOFT. **ExxonMobil to increase Permian profitability through digital partnership with Microsoft.** 2019. Disponível em: <https://news.microsoft.com/2019/02/22/exxonmobil-to-increase-permian-profitability-through-digital-partnership-with-microsoft/>. Acesso em: 23/03/2020.

OFFSHORE MAGAZINE. **BP retains Emerson for long-term west of Shetland operations support.** 2019. Disponível em: <https://www.offshore-mag.com/field-development/article/16790942/bp-retains-emerson-for-longterm-west-of-shetland-operations-support>. Acesso em: 14/04/2020.

RUSSIA BUSINESS TODAY. **Gazprom Neft Launches AI Project in Partnership with Saudi Aramco**. 2019. Disponível em: <https://russiabusinesstoday.com/energy/gazprom-neft-launches-ai-project-in-partnership-with-saudi-aramco/>. Acesso em: 03/02/2020.

SAFETY4SEA. **ExxonMobil partners with Pason Systems**. 2017. Disponível em: https://safety4sea.com/exxonmobil-partners-with-pason-systems/?_cf_chl_jschl_tk__=dbe046272bf9e1cf7284172474b49559d1b34420-1597449283-0-AbTA3OKuAvE-dXXjpt0MM-uOPiHA_t1zxG72kGhyTDTBRedEQN0hIFUYtmOuTdl9rQFQSQLf6LzaL2_nLossvPhueBgkCYMCQDP3HA9W6219ttwW8AICCCHz_8xTQJEAPveRzoZzmVykSeErwNFQgquJ0Ds3g9bntSLb4yglXEYiywpJvL_ELQvnwyjEutHAXBjhpLFvsvPjI_6w23xZU6vw0z4UMYnaN4CC7xAdkgCHqnNYKSFOMcYp2-9j1IZc-8IE7up-m0IUgxf48580pf0IPQmFAtnRPJiwkikTOOKWL0f9GAiBPrbW0DsbD3gHcZABYF9JBLJZTFeKojJT5oUAAcesso em: 14/04/2020.

SERTIN, C. **IHS Markit and Schlumberger to collaborate on GAIA digital subsurface platform**. 2019. Disponível em: <https://www.oilandgasmiddleeast.com/products-services/34954-ihs-markit-and-schlumberger-to-collaborate-on-gaia-digital-subsurface-platform>.

CHECKR. **Artificial Intelligence And HR: 5 Company Success Stories**. 2019. Disponível em: <https://checkr.com/blog/artificial-intelligence-and-hr-5-company-success-stories>. Acesso em: 03/02/2020.

GARTNER. **Small And Midsize Business (SMB)**. Disponível em: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/smbs-small-and-midsize-businesses>. Acesso em: 03/08/2020.

IRELAND, T. **Startups are a particular kind of business. But when do you stop being one?** 2015. Disponível em: <https://www.business.com/articles/at-what-point-are-you-no-longer-a-startup/>. Acesso em: 03/08/2020.

NVIDIA. **Share Your Science: Using Deep Learning to Automatically Detect Geophysical Features**. 2016. Disponível em: <https://news.developer.nvidia.com/share-your-science-using-deep-learning-to-automatically-detect-geophysical-features/>. Acesso em: 14/04/2020.

OFFSHORE MAGAZINE. **Aramco unveils digital/AI center.** 2019. Disponível em: <https://www.offshore-mag.com/business-briefs/company-news/article/16790412/aramco-unveils-digitalai-center>. Acesso em: 15/01/2020.

OFFSHORE TECHNOLOGY. **Gazprom Neft and IBM Research Brazil work on geological processing AI.** 2019. Disponível em: <https://www.offshore-technology.com/news/gazprom-neft-ibm-ai/>. Acesso em: 20/02/2020.

SHELL. **A BIONIC INSPECTOR ROLLS IN.** Disponível em: <https://www.shell.com/inside-energy/a-bionic-inspector-rolls-in.html>. Acesso em: 03/02/2020.

SHELL. **ARTIFICIAL INTELLIGENCE.** Disponível em: <https://www.shell.com/energy-and-innovation/overcoming-technology-challenges/digital-innovation/artificial-intelligence.html>. Acesso em: 25/02/2020.

SPE. **About Us.** Disponível em: <https://www.spe.org/en/about/>. Acesso em: 05/06/2020.

SPE. **Grand Challenges Facing the E&P Industry.** Disponível em: <https://spe.org/en/industry/globalchallenges/>. Acesso em: 25/09/2019.

STEEL GURU. **Saudi Aramco Signs 7 MoUs at the Future Investment Initiative in Saudi Arabia.** 2019. Disponível em: <https://steelguru.com/gas-oil/saudi-aramco-signs-7-mous-at-the-future-investment-initiative-in-saudi-arabia/552071>. Acesso em: 27/01/2020.

ANSWER MINER. **Differences Between Predictive Analytics and Machine Learning.** 2018. Disponível em: <https://www.answerminer.com/blog/differences-between-predictive-analytics-and-machine-learning/>. Acesso em: 16/08/2020.

RIG ZONE. **How Does Artificial Lift Work?.** Disponível em: https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=315&c_id=. Acesso em: 17/08/2020.

FORBES. **AI Knowledge Map: How To Classify AI Technologies.** 2018 Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2018/08/22/ai-knowledge-map-how-to-classify-ai-technologies/#3ee921417773>. Acesso em: 17/08/2020.

SPE. **The Oil and Gas Chat Bots Are Coming.** 2020. Disponível em: <https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-0219-0034-JPT>. Acesso em: 18/08/2020.

TESTING SAAS. **Chatbot versus Virtual Assistant.** 2020. Disponível em: <https://testingsaas.nl/2020/02/13/chatbot-versus-virtual-assistant/>. Acesso em: 18/08/2020.

KNOW MAX. **What is a Virtual Assistant?** 2019. Disponível em: <https://knowmax.ai/knowledgehub/what-is-a-virtual-assistant/>. Acesso em: 18/08/2020.

SAWYER, D. **E&P Solutions: Reduce Costly Regrets through AI-powered Digital Twins.** 2020. Disponível em: <https://www.hartenergy.com/exclusives/ep-solutions-reduce-costly-regrets-through-ai-powered-digital-twins-188772>. Acesso em: 18/08/2020.

ACCENTURE. **THE BLOCKCHAIN BENEFIT.** 2018b. Disponível em: https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-77/Accenture-13584-ACN-RES-Blockchain-FBAP-Brochure-2018-final.pdf#zoom=50 . Acesso em: 18/08/2020.

OIL AND GAS IQ. **What does digital transformation in oil and gas look like?.** 2019. Disponível em: <https://www.oilandgasiq.com/oil-gas/news/what-is-digital-transformation>. Acesso em: 18/08/2020.

MCKINSEY. **A new operating model for well organizations.** 2018. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/a-new-operating-model-for-well-organizations>. Acesso em: 18/08/2020.

ACCENTURE. **Accenture – Oil and Gas Industry.** 2017. Disponível em: https://www.accenture.com/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/WEF/PDF/Accenture-Oil-And-Gas-Industry-slideshare.pdf. Acesso em: 18/08/2020.

APÊNDICE A - Metodologia adotada para busca por palavras-chave.

#	TERMO DE INTERESSE	PALAVRAS-CHAVE	BUSCA	PORTAL	COMBINAÇÃO DE PALAVRAS-CHAVE
1	Inteligência Artificial	artificial intelligence ou deep learning ou machine learning ou data-driven model ou artificial neural networks ou Cognitive ou algorithms	Programas de IA para O&G	Google	1 + 2 + (nome da Empresa)
2	Óleo e Gás	oil and gas ou O&G ou petroleum ou exploration and production ou E&P	Parcerias no Programa de IA para O&G	Google	3 + (nome do Programa de IA para O&G) + (nome da Empresa)
3	Parcerias	partnership ou collaboration ou alliance	Desafios técnicos	Google	2 + 4 + 5+ IPTC ou SPE ou WPC
4	Desafios	challenges ou issues ou obstacles	Soluções de IA para o desafio:	Google	1 + 2 + 6
5	Técnico	technical ou scientific ou complex	Imagens de subsuperfície de alta resolução	Onepetro	1 + 6
6	Imagens de subsuperfície de alta resolução	subsurface ou image interpretation + exploration	Soluções de IA para o desafio: Reutilização da água produzida	Google	1 + 2 + 7
7	Reutilização da água produzida	produced water + production + reuse ou treatment	Soluções de IA para o desafio: Manipulação Molecular In Situ	Google Onepetro	1 + 2 + 8 1 + 8
8	Manipulação Molecular In Situ	in situ manipulation ou reservoir simulation	Soluções de IA para o desafio: Aumento do fator de Recuperação de Hidrocarbonetos	Google Onepetro	1 + 2 + 9 1 + 9
9	Aumento do fator de Recuperação de Hidrocarbonetos	enhanced oil recovery ou recovery factor + production	Soluções de IA para o desafio: Captação e Fixação de Carbono	Google Onepetro	1 + 2 + 10 1 + 10
10	Captação e Fixação de Carbono	carbon capture sequestration ou storage ou carbon dioxide ou CO2	Desafios de negócios	Google	2 + 4
11	Recursos Humanos	human resources ou hiring ou talent ou workplace safety	Soluções de IA para o desafio: Recursos Humanos	Google	1 + 11
12	Gerenciamento de dados e ativos	management ou integration + assets ou infrastructure ou data	Soluções de IA para o desafio: Gerenciamento de dados e ativos	Google	1 + 12
13	Otimização na produção	downtime ou ROA ou production optimization	Soluções de IA para o desafio: Otimização na produção	Google	1 + 13
14	Mercado e fatores geopolíticos	oil barrel price ou oil supply ou oil demand ou geopolitics ou investors	Soluções de IA para o desafio: Mercado e fatores geopolíticos	Google	1 + 14
15	Regulamentações	regulatory requirements ou compliance ou health environment safety	Soluções de IA para o desafio: Regulamentações	Google	1 + 15

APÊNDICE B - Programas em IA adotados pelas operadoras em E&P.

Saudi Aramco:

O programa de IA da petrolífera árabe Saudi Aramco – o centro *4IR* - começou em 2019 e foi projetado para apoiar a concepção de novas ideias, prototipagem, pilotagem e implantação em larga escala. No entanto, por ser ter sido lançado recentemente, não encontrou-se ainda um portfólio de soluções ou parcerias concretizadas (OFFSHORE MAGAZINE, 2019), mas se encontra em fase de negociação por meio de contratos de memorando de entendimento sobre projetos envolvendo IA com a prestadora de serviços em E&P Baker Hughes e também a empresa de software Cognite AS (STEEL GURU, 2019; GLOBE NEWS WIRE, 2019). Segundo a Offshore Magazine (2019), esse programa tem como foco a utilização de uma grande gama de dados, em *big data*, para implementação de soluções avançadas de análise e aprendizado de máquina em aplicativos relacionados a hidrocarbonetos e visualização e previsão do desempenho dos ativos da empresa. Além disso, como parte de sua estratégia de negócios, a petrolífera também anunciou investimentos, através da sua subsidiária Saudi Aramco Energy Ventures (SAEV), nas empresas de tecnologia em IA Maana, Earth Science Analytics e Seeq para futuros trabalhos em conjunto (MAANA, 2016; APNEWS, 2019; OIL REVIEW MIDDLE EAST, 2020). Segundo o diretor geral da SAEV, essa subsidiária, fundada em 2012, tem como propósito garantir que a petrolífera esteja na vanguarda das transformações do setor de energia até o momento, atuando como guardião de startups de tecnologia (HOUSTON CHRONICLE, 2019).

Shell:

A petrolífera internacional Shell utiliza uma ampla gama de tecnologias de IA, segundo informado em seu website oficial, como o aprendizado de máquina, visão computacional, aprendizado profundo, assistentes virtuais, veículos autônomos e robótica (SHELL, 2020a). A empresa investe em tecnologias digitais desde 1970, o que é refletido em um amplo portfólio de soluções e iniciativas voltadas para IA. Como exemplo, há o programa de Inovação Digital que inclui uma solução que utiliza um robô com sensores e câmeras que permitem o uso das tecnologias

de aprendizado de máquina e visão de máquina para realizar inspeções de equipamentos de campo de petróleo e gás em ambientes desafiadores (SHELL, 2020b). Além dele, há o *Shell.ai.Residency* que incentiva cientistas de dados a trabalharem em uma variedade de projetos de IA em todos os negócios da empresa (SHELL, 2020c). Foi divulgado que a Shell utilizou as tecnologias de *deep learning* e as GPUs da empresa de TI NVIDIA para detectar automaticamente falhas subterrâneas de traços sísmicos para exploração de petróleo e gás (NVIDIA, 2016). E em parceria com a empresa de software Catalant, a Shell também iniciou um projeto piloto que utiliza aprendizado de máquina para alocar funcionários de acordo com as necessidades da empresa (CHECKR, 2019), o que se mostra uma solução para objetivos dos desafios de Recursos Humanos detalhados no item VI.2.2 do capítulo VI. Além disso, em 2010 foi anunciado que a Shell iniciou uma parceria com a IBM para identificar possíveis reservas de petróleo através da análise preditiva (COMPUTER WEEKLY, 2010). Há também a parceria de co-inovação da Shell e outras líderes em O&G, como a Chevron e a BP, com a SAP e a Accenture, para avaliar e amadurecer a tecnologia *SAP S/4HANA* a um ponto onde o modelo de software em IA poderá funcionar para empresas de petróleo e gás em grande escala corporativa (SAP, 2020).

Gazprom Neft:

A russa Gazprom Neft (GPN) tornou-se a primeira empresa a integrar o programa *AI-Russia Alliance*, que tem como objetivo estabelecer uma aliança intersetorial para desenvolver inteligência artificial no país, sob um acordo de cooperação divulgado no próprio website da empresa (GPN, 2019). Dentre as iniciativas neste ramo, a GPN firmou parcerias em IA com empresas de TI, como a americana IBM, para aprimorar o processamento de informações geológicas (OFFSHORE TECHNOLOGY, 2019) e outro com a também russa Yandex, para analisar um grande volume de dados geológicos e técnicos vindos de atividades como perfuração e conclusão de poços (GPN, 2017). Além disso, a empresa também assinou contratos de cooperação em IA com petrolíferas árabes, como a Saudi Aramco para preparar e retificar modelos hidrodinâmicos de depósitos (RUSSIA BUSINESS TODAY, 2019) e a ADNOC para desenvolvimento de sistemas analíticos na exploração, produção, logística, processamento e vendas de hidrocarbonetos, assim como possíveis projetos em prospecção geológica e desenvolvimento de campos de petróleo e gás (EURO PÉTROLE, 2019).

ExxonMobil:

O programa *Fast Drill™ technology suite* da petrolífera internacional ExxonMobil desenvolve soluções que combinam modelagem física de perfuração com planejamento e projeção de poços (ENERGY FACTOR, 2017). Uma dessas soluções, a *Drilling Advisory System*, tem como objetivo entender as características da formação rochosa e otimizar automaticamente os parâmetros de perfuração por meio da inteligência artificial, resultando em melhor desempenho de perfuração e segurança, assim como custos mais baixos conforme divulgado no relatório financeiro de 2018 da operadora. Esta solução destacou-se por conceder uma licença para a empresa de TI Pason Systems a fim de acelerar a comercialização dessa tecnologia (SAFETY4SEA, 2017). Como parte da sua estratégia digital, a ExxonMobil anunciou parceria com a Microsoft, que usará seus serviços de nuvem, IA e IoT com o objetivo de aumentar a lucratividade da bacia sedimentar *Permian*, conforme divulgado no website da Microsoft em 2019. E além desta, também foi anunciada uma parceria com a IBM, com o objetivo de aplicar a IA à interpretação sísmica (IBM BIG DATA HUB, 2019).

Chevron:

A parceria da Microsoft e Schlumberger com a petrolífera internacional Chevron no programa *DELFI* cognitive E&P environment*, uma plataforma que fornece tecnologia de software em IA e HPC para o setor de E&P, utiliza os conhecimentos e recursos das especialistas em E&P para acelerar a implantação das soluções DELFI na nuvem da Microsoft (MICROSOFT, 2019a). Além disso, como mencionado anteriormente, a Chevron está envolvida no programa da SAP com a Accenture, a *SAP S/4HANA* (SAP, 2020).

Sinopec:

A Sinopec possui um programa de soluções para automação do processo de perfuração denominado *Sinopec Sripe Drilling Automation*. Em 2020, foi anunciado que em tal programa foi incluído o software de otimização em tempo real *wellAhead™* da empresa eDrilling, que tem por objetivos a prevenção e previsão de riscos e a otimização do processo de perfuração por meio de

técnicas da inteligência artificial como *machine learning* e *predictive analytics* (DIGITAL TWIN, 2020).

Total:

A Total começou a aplicar inteligência artificial para caracterizar campos de petróleo e gás usando algoritmos de aprendizado de máquina nos anos 90. Em 2013, a empresa usou esses algoritmos para implementar manutenção preditiva de turbinas, bombas e compressores em suas instalações industriais, gerando economia de várias centenas de milhões de dólares. Em 2018 foi anunciado que a petrolífera internacional está explorando vários aplicativos de aprendizado de máquina e aprendizado profundo para previsão de perfil de produção, análise automatizada de imagens de satélite e análise de imagens de amostras de rochas. No mesmo ano, a Total e a Google assinaram um acordo para desenvolver conjuntamente soluções de inteligência artificial aplicadas à análise de dados subterrâneos para exploração e produção de petróleo e gás, e também anunciou uma aliança com a operadora brasileira Petrobrás para aplicar a IA na identificação de falhas geológicas a fim de alcançar ganhos de eficiência significativos (TOTAL, 2018a; 2018b).

Lukoil:

A russa Lukoil decidiu integrar a inteligência artificial ao gerenciamento da sua plataforma de petróleo por meio de um programa chamado *Digital Astra System*. Este programa foi realizado em parceria com experts em ciência de dados e IA da BCG Gamma e o Centro de Engenharia e Tecnologia do Instituto de Física e Tecnologia de Moscou (MIPT) para integrar o sistema *Digital ASTRA* ao servidor da petrolífera russa (MEDIUM, 2019). Pela mesma fonte, esta iniciativa foi criada no intuito de reduzir o tempo de inatividade e otimizar a manutenção e operação de equipamentos caros, tornando a plataforma de petróleo mais inteligente.

BP:

A British Petroleum (BP) possui seu próprio programa de transformação digital, a *BP Digital Transformation*, e divulgou investimentos em três empresas que realizam serviços de IA

para o setor de E&P. A primeira, a Belmont Technologies, conta com um capital da BP de US\$ 5 milhões em uma tentativa de acelerar os projetos em *Upstream*, desde a exploração até a modelagem do reservatório, visando uma redução de 90% no tempo na coleta, interpretação e simulação de dados (DUCKETT, 2019). A segunda, a empresa Grid Edge, para expandir o portfólio digital em energia da BP, aplica a computação cognitiva e o aprendizado de máquina em seus negócios globais de petróleo e gás (POWER TECHNOLOGY, 2019). E por último a Beyond Limits, que a BP havia investido US \$ 20 milhões a fim de aplicar a tecnologia usada na exploração *offshore* em uma tentativa de acelerar insights operacionais e automação de processos em suas operações (DUCKETT, 2019). Em termos de colaborações, a petrolífera junto com a Microsoft utilizou aprendizado de máquina para trazer maior sofisticação às suas operações e aumentar a segurança de seus trabalhadores. Conforme divulgado no website oficial da Microsoft, os engenheiros da BP estão usando o *Microsoft Azure Machine Learning* para otimizar a extração de reservas de hidrocarbonetos e prevê um futuro em que algumas das tarefas mais perigosas, como as de plataformas de perfuração *offshore*, serão automatizadas pela IA e os trabalhadores monitorarão as operações remotamente, em vez de trabalhar no local (MICROSOFT, 2019b). Além disso, como mencionado anteriormente, a BP está envolvida no programa da SAP com a Accenture, a *SAP S/4HANA* (SAP, 2020).

CNPC:

Para o avanço da exploração de petróleo e gás, a China National Petroleum Corporation (CNPC) e a Huawei introduziram o *Industrial Intelligence Twins* que usa tecnologias de IA, como mapas de conhecimento, processamento de linguagem natural e aprendizado de máquina. Essas tecnologias fornecem análises inteligentes para exploração de petróleo e gás, pesquisa e gerenciamento de produção, aumento da eficiência de exploração e desenvolvimento de petróleo e gás, redução de custos e ajuda na tomada de decisão para melhorar a eficiência e a eficácia. Como uma das metas, espera-se que essa solução acelere a identificação de reservatórios de hidrocarbonetos em 70% (HUAWEI, 2019).

APÊNDICE C - Programas em IA adotados pelas prestadoras de serviço em E&P.

Schlumberger:

Em 2017, a Schlumberger anunciou o lançamento da *DELFI Cognitive E&P environment* com tecnologias digitais, incluindo cibersegurança, análise e aprendizado de máquina, computação de alto desempenho e Internet das Coisas aplicadas na nuvem da Google para melhorar a eficiência operacional e fornecer uma produção otimizada ao menor custo por barril de petróleo (SCHLUMBERGER, 2017). Dois anos depois, foram anunciadas parcerias com a provedora global de informações IHS Markit para coleta de dados prontos para análise (SERTIN, 2019), a petrolífera Chevron com seus recursos e conhecimentos, e as empresas de software TIBCO, Dataiku e Microsoft que promovem tecnologias e soluções avançadas da inteligência artificial, conforme divulgado no website oficial da Schlumberger (SCHLUMBERGER, 2020c; SCHLUMBERGER, 2019a; SCHLUMBERGER, 2019b; SCHLUMBERGER, 2019c). A empresa também fechou uma colaboração tecnológica de 7 anos com a operadora Woodside Energy, que irá adicionar sua própria propriedade intelectual e fluxos de trabalho junto a prestadora para promover a inovação em suas atividades de caracterização e desenvolvimento na subsuperfície, reduzindo o tempo até a decisão final de investimento e diminuindo os custos unitários técnicos (WORLD OIL, 2019a).

Halliburton:

A Landmark, uma linha de negócios da Halliburton, fornece de soluções de tecnologia para dados, análises, ciência, software e serviços para os setores de exploração e produção como o *SmartDigital™ Co-innovation*. Conforme o website oficial da empresa, este programa propõe soluções customizadas e colaborativas com os clientes do setor de E&P de modo a utilizar tecnologias de IA como aprendizado de máquina e análise preditiva integradas à nuvem e conectividade em tempo real (LANDMARK, 2020). A Halliburton também possui o *DecisionSpace® 365* em parceria com a Microsoft (LANDMARK, 2017), que permite o fluxo de dados em tempo real a partir de dispositivos de IoT em campos de petróleo e a capacidade de aplicar modelos de aprendizado profundo para otimizar a perfuração e a produção, reduzindo

custos para clientes como a Repsol, que em 2019 anunciou a parceria para uma solução em gerenciamentos dos seus dados de E&P (AITHORITY, 2019). Outros parceiros dessa linha de negócios da prestadora de serviços em E&P incluem a Amazon Web Services (AWS) para o armazenamento de dados em nuvem (AWS, 2020), e a Dell EMC na execução de análises de dados e soluções em nuvem (ALBERTSON, 2019).

Baker Hughes:

A BakerHughesC3.ai, como descrito no seu website oficial, é uma joint venture que reúne a experiência em tecnologia e o portfólio completo da Baker Hughes com o software de IA da C3.ai para permitir a transformação digital da indústria de petróleo e gás (BAKER, 2020a). O programa em conjunto, a *BHC3 AI Suite*, foi inaugurado em 2019, contando com a parceria da Microsoft que provê a plataforma de computação em nuvem *Azure* à grandes clientes como a Shell. As soluções são adaptadas para enfrentar os desafios de toda a cadeia de valor, desde a otimização de inventário e gerenciamento de energia até a manutenção preditiva e a confiabilidade do processo e do equipamento (BAKER, 2020b; BAKER, 2020c). A fim de facilitar operações de processamento intensivo de dados da Indústria O&G, como aprendizado profundo, análises e aplicativos de engenharia, a Baker também contratou os serviços de GPU da empresa de hardware NVIDIA (NVIDIA, 2018b). Parte das soluções dessa iniciativa também são descritas no capítulo VI sobre os desafios de negócios do setor *Upstream*.

Weir:

A Weir, apesar de oferecer soluções que incluem tecnologias de IA para o setor de mineração, como a *IIoT platform Synertrex®* (WEIR, 2018), não foi encontrado no website da empresa ou nos portais de pesquisa qualquer solução ou produto oferecido que seja aplicada tecnologia de IA para o setor de E&P.

Emerson:

Como parte das soluções de software para E&P da Emerson, o *Paradigm™ 19* foi lançado em 2020 pela subsidiária da Emerson, a Paradigm & Roxar. Essa solução ajuda os clientes a melhorar o desempenho em todo o processo de E&P, incluindo o uso de aprendizado de máquina para interpretação acelerada e caracterização de reservatórios (EMERSON, 2019a). A empresa se uniu à especialista em soluções de IA para E&P, a Quantum Reservoir Impact, para aplicar IA, aprendizado de máquina e análises avançadas para gerenciamento de reservatórios (HYDROCARBONS TECHNOLOGY, 2020) e também à Microsoft para disponibilizar as suas soluções na nuvem com aplicações de IA e outras tecnologias (EMERSON, 2019b). Nesta referência, também foram divulgadas alianças estratégicas de longa duração com as petrolíferas Repsol, Total e BP para implementar soluções tecnológicas para Exploração e Produção. Com a Repsol, o acordo de 10 anos visa fornecer tecnologias geofísicas avançadas de subsuperfície para reduzir significativamente o tempo de prospecção e produção do primeiro petróleo (EMERSON, 2019c). Já com a Total, a parceria visa maximizar o desempenho da modelagem do subsolo e avaliação da formação (EMERSON, 2018). E com a BP, a parceria de 5 anos se objetiva em fornecer serviços preditivos de manutenção e suporte operacional na plataforma de petróleo (OFFSHORE MAGAZINE, 2019).

Schneider Electric:

A Schneider Electric em parceria com a Microsoft, oferece o *Realift Rod Pump Control*, que pode fornecer uma solução inteligente para trazer um novo nível de recuperação de fluidos e também reduzir os custos de produção de petróleo e gás em poços novos e existentes. Ao executar o *Realift Rod Pump Control* na nuvem *Microsoft Azure*, as empresas de petróleo e gás podem obter a manutenção preditiva baseada na Internet das Coisas (MICROSOFT, 2017), o que se mostra uma solução para alguns desafios de negócios, como discutido no item VI.2.2 do capítulo VI.

NOV:

A National Oilwell Varco (NOV) divulgou o aplicativo *KAIZEN™ drilling optimization*, que emprega inteligência artificial para avaliar continuamente o desempenho da perfuração com base nas condições atuais do poço, comparando-o para compensar os dados do poço e reconhecendo as mudanças ambientais (NOV, 2020a). Além disso, há também o produto *GoConnect*, que entrega em tempo real análises de dados de petróleo e gás para monitoramento de processos, análises preditivas e manutenção baseada nas condições do reservatório (NOV, 2020b). A NOV também contratou os serviços da Microsoft em parceria com subsidiária PowerObjects da HCL, para tomar decisões orientadas a dados que impactam positivamente os clientes do setor de petróleo da empresa que usam as suas tecnologias, conforme divulgado no website da própria PowerObjects (POWER OBJECTS, 2020).

ABB:

A ABB oferece tanto as soluções *ABB Ability™*, que incluem modelos de *machine learning* oferecidos em parceria com a IBM e a Microsoft, e as soluções voltadas para o setor de E&P, a *ABB Oil and Gas*. Juntas, essas soluções promoveram uma parceria digital com a petrolífera norueguesa OKEA anunciada em 2020. Tal colaboração tem a finalidade de tomar decisões melhores e mais rápidas para otimizar a operação da plataforma *offshore* com suporte operacional em terra a partir de dados em tempo real e de qualidade (ABB, 2020a; ABB, 2020b; ABB, 2020c). Além dessas parcerias, a Huawei fornece aos clientes da ABB na China opções adicionais de implantação na nuvem para soluções específicas *da ABB Ability™*, incluindo em IA (ABB, 2019).

Siemens:

A Siemens está utilizando seu conhecimento e experiência em digitalização e aplicando-a ao setor de produção de petróleo e gás com sua solução *Topsides 4.0*, que inclui tecnologias como análise preditiva e *digital twin*. Um estudo de caso aplicado a esta solução foi dado pela parceria com a Aker BP, a fim de fornecer análises de monitoramento remoto para manutenção planejada, e também para melhorar a segurança e reduzir custos de modo a possibilitar trabalho remoto da

mão-de-obra em *offshore* (SIEMENS, 2020a). A Siemens por meio do seu programa *MindSphere* desenvolveu uma solução de manutenção preditiva com IA e IoT para monitorar remotamente o desempenho de bombas submersíveis elétricas (BSEs) usadas para elevar artificialmente a pressão em poços de petróleo de modo a melhorar o suporte à decisão, para que os operadores de BSEs possam evitar interrupções na produção (HART ENERGY, 2018). Além disso, a empresa também oferece soluções de modo a reduzir emissões e ruídos associados ao fraturamento hidráulico, com um aplicativo baseado em IA para ajudar a evitar a falha de sistemas de elevação artificial em campos de petróleo e gás de baixa permeabilidade (SIEMENS, 2020b). A Siemens possui uma extensa lista de parceiros tecnológicos especializados em IA que colaboram para o programa *MindSphere*, tais como as empresas Spark Cognition, Presenso, SAS, Atos, Persistent Systems, BISTel, Flutura, QiO, e HCL, e ainda empresas que além de IA, também oferecem tecnologia em nuvem como a AWS e a Microsoft (PRNEWswire, 2018; SIEMENS, 2020c).

Weatherford:

A Weatherford International plc anunciou seu sistema automatizado de integridade de conexão *Vero* em 2018, que aplica inteligência artificial para validar a integridade do poço de petróleo, desde a fabricação do tubo até a instalação, para melhorar a eficiência de composição da conexão tubular e eliminar os erros inevitáveis associados ao julgamento humano durante o processo de modo a minimizar os riscos à segurança. Desde a sua estreia, a *Vero* concluiu com êxito 100 execuções e 33.000 conexões tubulares em operações em todo o mundo, além de eliminar mais de 10.000 horas de exposição do pessoal aos riscos de segurança do piso da plataforma (WORLD OIL, 2020). Além dessa, a empresa oferece também a *ForeSite® Edge*, uma solução que utiliza dados e modelagem contínuos no local do poço, por meio de tecnologias como IoT e *machine learning*, para oferecer otimização contínua e autônoma da produção (WEATHERFORD, 2020a). Sobre parceria tecnológica, em julho de 2016, a Weatherford assinou um contrato de iniciativa conjunta com a IBM para colaborar no desenvolvimento via IBM *Watson* de novos produtos e serviços para produtores de petróleo e gás disponíveis na nuvem da IBM, utilizando o controle supervisão e aquisição de dados (SCADA), sensores e controladores IoT da Weatherford (WEATHERFORD, 2020b).

APÊNDICE D - Programas para E&P adotados pelas prestadoras de serviço em IA.

Google:

Como mencionado anteriormente, a Google colaborou tanto com a prestadora de serviço em E&P Schlumberger quanto com a petrolífera Total. Além dessas parcerias, também foi divulgado que a operadora em E&P Aker BP também trabalhou com a Google Cloud em parceria com a Cognite para desenvolver uma tecnologia a fim de otimizar operações, com visualizações, aprendizado de máquina, automação e manutenção preventiva (IOT SOLUTIONS WORLD CONGRESS, 2018). Como evidenciado no seu website oficial, a Google expõe uma gama de tecnologias como HPC, IoT e IA para os seus clientes do setor energético de modo geral, mas não foi identificado menção específica sobre o setor de petróleo (GOOGLE, 2020a). Apesar das prévias parcerias bem-sucedidas em E&P, em 2020 a empresa de tecnologia prometeu não criar mais algoritmos de inteligência artificial customizados para empresas do setor extraírem petróleo, mas sim para as empresas de energias renováveis (TELEGRAPH, 2020).

Microsoft:

A Microsoft, neste estudo, é a que mais se destaca em termos de parcerias em IA e nuvem com o setor de petróleo, colaborando com operadoras como a BP, Shell e ExxonMobil e também com prestadoras de serviço em E&P como a Schlumberger, Baker Hughes, Siemens, NOV, ABB, Schneider Electric e Halliburton, como já mencionado anteriormente. Todas essas parcerias estão inseridas na *Microsoft Azure*, plataforma com recursos avançados de IA, HPC e IoT, com a finalidade de visualizar simulações de reservatório de modo a aumentar as taxas de acerto de perfuração, melhorar a tomada de decisões e a produção de reservatório, além ainda gerenciar e estender os ciclos de vida dos ativos (MICROSOFT, 2020).

Oracle:

A Oracle possui seções de serviços separados para inteligência artificial (ORACLE, 2020b) e para o setor de E&P. Neste último, inclusive é oferecido o *Big data in the Cloud* que tem a finalidade de otimizar as operações de caracterização, perfuração e produção de reservatórios com uma solução de operações integrada que aprimora a captura de dados, fornece informações através da análise de dados e permite melhores decisões operacionais, táticas e estratégicas (ORACLE, 2020c). A tecnologia de *big data* oferecida pela Oracle também é associada com *machine learning* para ampliar a capacidade analítica dos dados (ORACLE, 2020d). Embora seja considerada um dos principais atores em O&G segundo relatórios da Business Wire (APNEWS, 2020) e a Morgon Intelligence (MORGON INTELLIGENCE, 2019), não foi possível identificar parcerias que envolvessem soluções de IA aplicado ao setor de E&P.

Cisco:

A Cisco desenvolve e oferece soluções para a Indústria de O&G por meio do seu novo centro de tecnologia avançada em O&G, que foi projetado para visualizar, treinar e simular processos reais de transporte, distribuição e armazenamento de hidrocarbonetos em um ambiente controlado e ainda acelerar a adoção de novas tecnologias em seus processos atuais, sem comprometer a continuidade da operação (CISCO, 2020). Esse centro foi inaugurado em 2018 no México em parceria com a prestadora de serviços em E&P Wood Plc e a consultora Roue Consultores, incluindo *data analytics* para ajudar em uma mais rápida tomada de decisões (CISCO, 2018). Além disso, há também a *Cisco Kinetic for Oil and Gas* que promete maximizar o valor comercial dos dados de IoT, aumentar a produtividade, segurança, automação e manutenção preditiva dos clientes (CISCO, 2020).

Intel:

A Intel possui um programa de IA específico para o setor energético, que inclui também o segmento da Indústria O&G. Essa solução implementa tecnologias como *machine learning* e *deep learning*, havendo como clientes em seu portfólio a exploradora em O&G Devon Energy, que contratou os serviços para aumentar eficiência e segurança com IA (INTEL, 2020).

Huawei:

Como mencionado anteriormente, a Huawei lançou em 2019 a *Industrial Intelligent Twins* em cooperação com a petrolífera chinesa CNPC, incluída também como um dos atores estudados no presente trabalho. A solução tem como focos principais o aumento da eficiência de exploração e desenvolvimento de petróleo e gás, a redução de custos e a ajuda na tomada de decisão para melhorar a eficiência e a eficácia do gerenciamento (HUAWEI, 2019).

NVIDIA:

A NVIDIA possui soluções de *deep learning* aplicada à E&P, que é um tipo de tecnologia de IA que requer tanto uma grande quantidade de dados quanto de armazenamento e processamento proveniente de GPUs, que é uma das grandes especialidades da empresa. Dentre as aplicações de IA para E&P, a empresa oferece uma solução em saúde, segurança e meio ambiente a fim de proteger profissionais e o meio ambiente ao aplicar aprendizado profundo aos fluxos de vídeo para aplicativos como segurança dos funcionários, gerenciamento de tráfego e otimização de recursos (NVIDIA, 2020b). E como já mencionado anteriormente, do setor de E&P, a prestadora Baker Hughes e a operadora Shell também já colaboraram com a empresa para os seus serviços de GPU e IA.

Accenture:

A Accenture e a SAP co-desenvolveram em 2018 uma solução em nuvem para transformar digitalmente as operações *Upstream* de petróleo e gás (ACCENTURE, 2018b). Esta solução inclui tecnologias como inteligência artificial e *blockchain*, permitindo a obtenção da excelência operacional em diversas áreas como finanças, compras, gerenciamento de ativos, logística em campo e gerenciamento contábil de hidrocarbonetos (ACCENTURE, 2020b). As parcerias deste programa incluem grandes líderes da Indústria de O&G como a Chevron, Shell, BP, ConocoPhillips e Equinor para avaliar e amadurecer a tecnologia *SAP S/4HANA* a um ponto onde o modelo de software em IA poderá funcionar para empresas de petróleo e gás em grande escala corporativa (SAP, 2020). Além disso, a solução também conta com muitos parceiros da área tecnológica, como a Anyline GmbH, AWS, Celonis, EY, IBM, Tech Mahindra, Utopia Global, Vesta, Wipro, Aperio, OpenText, SAP FieldGlass, Vistex, Maventic, OIS SE e Viziya (TAC EVENTS, 2019). Este programa também é mostrado no capítulo VI, como uma das soluções para alguns desafios de negócios da Indústria de O&G.

Infosys:

A Infosys oferece um programa de transformação digital ágil em O&G, o *Agile Digital Services Architecture: Oil and Gas*, que visa ajudar empresas de E&P a acelerar a descoberta de hidrocarbonetos e otimizar as operações de perfuração em andamento. As soluções de IA desse programa incluem tecnologias como *predictive analytics* e *chatbots*, além de das tecnologias digitais como *blockchain*, segurança cibernética, dentre outras (INFOSYS, 2020a). Neste segmento, a Infosys conta com parcerias para gerenciamento de dados em E&P, como a *Professional Petroleum Data Management (PPDM) Association*, a TIBCO e a Energistics (INFOSYS, 2020b).

IBM:

A *International Business Machines* (IBM) oferece soluções customizadas de inteligência artificial para o setor de E&P (IBM, 2020c), o que inclui colaborações com grandes operadoras, como a ExxonMobil, ADNOC, Woodside Energy, Flotek, Galp, Repsol, Gazprom Neft e a Shell, além também de uma parceria divulgada com a prestadora de serviços em E&P Weatherford. Essas parcerias de IA anunciadas ocorreram para diversos propósitos: aceleração da interpretação sísmica para a Exxon, determinação rápida dos locais de perfuração e transferência de conhecimentos para novos funcionários da ADNOC, (IBM, 2020d); melhora no desempenho dos poços ao longo de todo o seu ciclo de vida com a Flotek, (IOT M2M COUNCIL, 2017); aceleração da avaliação das prospecções e descobertas de petróleo e gás com a Galp (GALP, 2018); aumento da tomada de decisão estratégica da Repsol por meio da otimização da produção de reservatórios de petróleo e na aquisição de novos campos de petróleo (IBM, 2014); a identificação de possíveis novas reservas de petróleo com a Shell (COMPUTER WEEKLY, 2010); a melhora na qualidade de processamento de informação geológica da GPN (GAZPROM NEFT, 2019); com a Woodside a extração de informações significativas de 30 anos de dados de engenharia (IBM, 2020d), redução do tempo para análise de informações de incidentes de segurança (WOODSIDE, 2020) e atualmente na economia de uma parte significativa dos custos anuais de manutenção e otimização dos fluxos de trabalho por meio da computação quântica e IA (IBM, 2019e). Como já mencionado anteriormente, a parceria com a Weatherford envolve a implementação da tecnologia de IA *IBM Watson* no software de otimização para produção de O&G da prestadora. Além disso, a IBM também possui uma parceria com a *Workday* por meio do programa *Cognitive HR for Energy*, que usa IA para ajudar as empresas do setor de energia, incluindo O&G, a gerenciar proativamente os seus talentos (IBM, 2020f). Em 2019, foi anunciado que a plataforma cognitiva *IBM Watson* pode ser executada em qualquer nuvem - seja ela privada, pública ou uma multi-nuvem híbrida - além da própria plataforma *IBM Cloud* (CRN, 2019), o que pode favorecer e flexibilizar a implementação das soluções de IA.

Cognizant:

A *Operations Intelligence Platform* (OIP) da Cognizant fornece aos operadores de petróleo os *insights* necessários para otimizar a produção, reduzir custos e melhorar a tomada de decisões. Os objetivos desse programa incluem a otimização dos esforços de produção e recuperação de reservas, a redução dos riscos para o pessoal *offshore*, a melhora no desempenho em saúde e segurança ambiental, o aumento na confiabilidade e a eficiência da produção de equipamentos e plantas com o monitoramento do processo e a promoção da colaboração em toda a organização. Como tecnologias envolvidas, essa plataforma conta com *predictive analytics*, SCADA e IoT (COGNIZANT, 2020). Como parte do relacionamento de vários anos, a Cognizant ajudará a prestadora de serviços em E&P Aker a estabelecer as bases para a transformação digital de seus negócios (OFFSHORE ENERGY, 2016).

TCS:

A empresa de serviços de tecnologia Tata Consultancy Services (TCS) possui a *Machine-First Delivery Model* (MFDM), que usa tecnologias de automação e inteligência artificial para reduzir o risco operacional, melhorar a velocidade de colocação no mercado, aumentar a produtividade e agregar valor aos negócios de diferentes segmentos. Como parceria desse programa, a TCS e a prestadora de serviços em E&P Seadrill estão trabalhando juntas para apoiar as operações globais de TI nos negócios, em suas plataformas móveis de perfuração *offshore*, bem como em suas localizações *onshore* (NS ENERGY BUSINESS, 2019).

EY:

A Ernst & Young (EY) apesar de ser uma empresa do ramo de auditoria, impostos, transações e consultoria, também oferece serviços de IA para empresas de O&G, com parceiros provedores de tecnologia como GE, IBM, Microsoft e SAP. Um dos seus serviços de IA oferecidos para E&P é a *Intelligent Asset Management* (IAM), que tem o propósito de ajudar a reduzir custos e o tempo de inatividade, aumentar a produção, a eficiência e a utilização de ativos (EY, 2020b), atendendo a alguns desafios de negócios que são explicados no capítulo VI. No

entanto, não foram identificadas parcerias de soluções em IA da EY com empresas especialistas em E&P.

Deloitte:

O programa *Digital Oil, Gas & Chemicals* abrange tecnologias da transformação digital para as Indústrias de O&G e química (DELOITTE, 2020a). Sobre E&P, a Deloitte se uniu com a prestadora de serviços de software para E&P Foroil em 2017 a fim de ajudar os clientes *Upstream* a aumentar a produção e as reservas *brownfields* usando dados históricos de produção, modelagem matemática inovadora e computação de alto desempenho (DELOITTE, 2017b). A solução *Digital Oil RecoveryTM*, que faz parte dessa parceria, usa uma técnica patenteada que combina matemática altamente sofisticada com a física de reservatórios e aplica aprendizado de máquina, análise cognitiva e computação paralela maciça para complementar o modelo geológico que descreve o que é o reservatório. O modelo comportamental pode rastrear mais de 15 milhões de possíveis planos de desenvolvimento de campo em 24 horas, encontrando o plano ideal ajustado aos objetivos do cliente (DELOITTE, 2020b).

HCL:

A HCL possui um programa de transformação digital para o setor *Upstream*, onde se incluem a solução baseada em nuvem *Worker Safety* em colaboração com as empresas de tecnologia IBM e PRESISTEM S.L. Esta solução permite a segurança de trabalhadores ocupacionais e pode ser integrada à plataforma IBM *Watson IoT*, que integra as tecnologias de IoT com IA (HCL, 2020a; HCL, 2020b). Além disso, a PowerObjects, uma empresa da HCL, criou a solução *Connected Field* na plataforma Microsoft Dynamics 365 para permitir a manutenção preventiva, de modo que o cliente petrolífero responda proativamente a problemas em campo (POWER OBJECTS, 2020). E como já mencionado, a HCL também possui parcerias com as prestadoras de serviços em E&P NOV e Siemens.

Wipro:

A *HOLMES™ E&P Report Digitalization* é uma solução da Wipro que utiliza recursos cognitivos avançados, como rede neural, classificadores cognitivos e NLP, para automatizar o processo de extração de dados relevantes de relatórios do setor de E&P. A solução ajuda a criar uma base de conhecimento comum que possa ser convenientemente usada para prever eventos em operações *Upstream*, reduzindo assim o custo unitário global da extração de hidrocarbonetos (WIPRO, 2020). Para fortalecer a unidade de negócios de O&G, a Wipro adquiriu por US\$ 150 milhões a unidade global de tecnologia da informação em petróleo e gás da *Science Applications International Corporation* (SAIC) (DOMAIN, 2011), e também possui uma colaboração com a empresa de TI IPKeys Power Partners meio meio do seu software em O&G SigmaFlow para a obtenção de expertise em operações petrolíferas e integração de sistemas (SIGMA FLOW, 2012).

Atos:

O *Codex AI Suite* é uma solução da Atos que aproveita os recursos de aprendizado de máquina e aprendizado profundo em vários ambientes, inclusive da Indústria de O&G (ATOS, 2020a). Como estudo de caso divulgado, uma empresa global de serviços de campo petrolífero não identificada contratou os serviços da Atos para extrair *insights* de seus dados para melhorar a eficiência e prever falhas no poço por meio do uso de análises avançadas. Como benefícios, essa solução trouxe transparência das causas básicas da falha, análise de sobrevivência para substituição preventiva, implementado sem interrupção das operações e ainda um aumento de 100% no tempo médio entre falhas (ATOS, 2019). A Atos também possui uma parceria com a prestadora de serviços em E&P Siemens na sua solução de IA *MindSphere*, como mencionado anteriormente.

APÊNDICE E - Soluções adotadas em IA para os desafios técnicos.

Imagens de subsuperfície de alta resolução:

Sobre o primeiro desafio, que é relacionado às imagens de subsuperfície de alta resolução, foram encontradas três possíveis soluções de IA, segundo o critério de palavras-chaves do Apêndice A. A primeira solução é proveniente da operadora em E&P ExxonMobil com a universidade americana MIT, onde um robô coleta dados sísmicos e utiliza inteligência artificial de águas profundas para automatizar o processo de exploração de hidrocarbonetos, além também de detectar e analisar o óleo que vaza naturalmente, tendendo a reduzir custos e o impacto ambiental (EMERJ, 2019). Já a unidade de pesquisa da empresa de tecnologia IBM, a *IBM Research*, em conjunto com a operadora de E&P Galp, possui uma abordagem diferente para atender o mesmo objetivo: um consultor baseado em IA para aprimorar a interpretação sísmica na área de exploração de petróleo e gás. Essa ferramenta de ponta acelera a criação de modelos geológicos aprimorados, a avaliação de riscos de novas prospecções e ainda a localização ideal de novos poços de petróleo (GALP, 2018). E a terceira solução alternativa também conta com a presença da americana IBM, que em parceria da petrolífera russa Gazprom Neft, está desenvolvendo o “*Cognitive Geologist*”, que visa prever informações geológicas críticas para apoiar a tomada de decisões no setor de exploração, com base em dados de análogos já descobertos e tecnologias como *big data* e *machine learning* (WORLD OIL, 2019b). Todas as três soluções têm em comum tanto a classificação de atendimento ao desafio como “Alternativa” e nível de progresso em fase de pesquisa e desenvolvimento, atendendo diretamente o objetivo geral de melhorar a exploração de hidrocarbonetos em reservatórios, como evidenciado nas referências citadas.

Reutilização da água produzida:

Para o segundo desafio sobre a reutilização da água produzida, diferentemente do anterior, foram encontradas soluções já em fase comercial, vendida como um serviço ou produto, e que atendem de forma completa a proposta do desafio. A primeira delas é do conglomerado de parcerias composto por empresas de tecnologia e engenharia (Acciona Agua, LIKUID, APLICAT,

Innotek21, BWA, REP), universidades (URV), consultorias (2-0 consultores LCA), plataformas profissionais (EDS) e empresas do setor de petróleo (TÜPRAŞ), que se uniram para criar o *Integroil*, com algoritmos de *machine learning* para indicar o melhor tratamento de água com base no seu destino final (AQUATECHTRADE, 2019). Essa solução visa aumentar a quantidade de água que pode ser reutilizada em indústrias como petróleo e gás em até 70% (INTEGROIL, 2020). A segunda solução é da empresa de tecnologia em IA Plutoshift, cujo software baseado em *deep learning* (PLUTOSHIFT, 2020a) realiza constantes recomendações para o tratamento da água produzida durante o fraturamento hidráulico de bacias *onshore*, de modo a cumprir critérios de qualidade mais eficientes para fins de reuso (PLUTOSHIFT, 2020b), estimando-se uma economia de U\$ 1 bilhões por ano (HART ENERGY, 2019). A terceira solução é o software baseado em ML da empresa IntelliFlux Controls, que permite ajudar produtores de petróleo em transportar águas residuais tratadas para poços de descarte de terceiros ou até mesmo para a agricultura, por meio da otimização de sistemas de tratamento por membrana, provendo uma solução rápida de mais baixo custo (WATER TECH ONLINE, 2017).

Manipulação Molecular *in situ*:

Para o desafio referente a manipulação molecular *in situ*, ao contrário dos anteriores, foram encontradas soluções que atendem parcialmente a proposta do desafio. A primeira da *Intelligent Solutions* aplica IA com *data mining* para servir como um complemento aos modelos de simulação de reservatório existentes de modo a fornecer uma análise independente ou ainda como uma alternativa à simulação convencional de reservatório, que muitas vezes podem consumir tempo e custo (INTELLIGENT SOLUTIONS, 2020). A simulação de reservatórios é um complemento fundamental para tornar possível processos *in situ*, como a combustão interna para recuperação de hidrocarbonetos (ZHENG *et al*, 2017). Além disso, essa solução realiza o cálculo do fator de recuperação, o que poderia ser utilizado de forma auxiliar no desafio de aumentar o fator de recuperação de hidrocarbonetos (INTELLIGENT SOLUTIONS, 2020). Além dessa solução já vendida como um serviço, há também uma pesquisa da operadora Saudi Aramco que utiliza *artificial neural networks* para prever composições molares de componentes de fluidos de reservatórios para otimizar o processo operacional, reduzindo o tempo e o custo associados à

análise experimental (ALMATOUQ *et al*, 2019), o que também é complementar ao avanço da simulação de reservatórios e conseqüentemente processos *in situ*.

Aumento do fator de Recuperação de hidrocarbonetos:

O aumento do fator de recuperação de hidrocarbonetos é um desafio que possui diferentes abordagens de soluções IA, uma completa relacionada a avaliação de diferentes técnicas de EOR e outra parcial para previsão do fator de recuperação. Na primeira abordagem, pesquisadores da IBM estão desenvolvendo uma aplicação de técnicas de aprendizado de máquina na base de dados, contendo possíveis candidatos à EOR de produtos químicos e materiais funcionais, para fornecer uma classificação específica de coquetéis adequados para determinado reservatório (GIRO *et al*, 2019). Além da empresa de tecnologia, a operadora iraniana NISOC divulgou uma pesquisa que utiliza rede neural artificial para selecionar e classificar os métodos de EOR tecnicamente, além de um modelo econômico de triagem de EOR que prevê fluxos de caixa futuros sobre o uso dos métodos (NIKOOKAR *et al*, 2014). Já a operadora BP e a Microsoft divulgaram uma solução em conjunto para reduzir o tempo necessário da identificação de modelos de previsão do fator de recuperação, além de aumentar a produtividade de seus cientistas de dados (MICROSOFT, 2019b) o que pode auxiliar no aprimoramento de técnicas EOR.

Captação e Fixação de Carbono:

Para a captura e fixação carbono no setor de E&P, ao contrário dos outros desafios, foi encontrado apenas uma solução de IA que atende ao desafio de forma parcial, conforme a metodologia de palavras-chave do Apêndice A. Esta solução ainda em fase de pesquisa faz parte do projeto de sequestro de CO₂ da prestadora de serviços em E&P Halliburton em parceria com a universidade americana West Virginia, e usa aprendizado de máquina para avaliar os parâmetros dinâmicos de um reservatório, tais como pressão, saturação e fração molar de CO₂, em vários cenários de injeção de CO₂ (AMINI *et al*, 2019).

APÊNDICE F - Soluções adotadas em IA para os desafios de negócios.

Recursos Humanos:

Formado por cinco objetivos específicos, o desafio relacionado aos Recursos Humanos na Indústria de O&G possui sete soluções de IA aplicáveis. A *The Shell Opportunity Hub* que tem a proposta de atender as necessidades da empresa e do funcionário ao combinar habilidades com projetos e oportunidades, ajuda tanto no objetivo de integrar e reter talentos, quanto melhorar o atendimento de demandas de pessoal (CHECKR, 2019). Já a plataforma da IBM com a empresa de software em RH Workday permite as empresas gerenciarem proativamente talentos e colocar o poder do desenvolvimento de habilidades e da progressão de carreira no comando de todos os funcionários, o que por sua vez também se relaciona com o objetivo de integrar e reter talentos (IBM, 2020d). Para melhorar o recrutamento e treinamento da próxima geração de profissionais, a também empresa de software em RH Ideal atende esse objetivo ao usar AI para tanto rastrear e pré-selecionar instantaneamente milhares de candidatos, em tempo real e com precisão, quanto para vasculhar o banco de dados de candidatos existente a fim de obter os que mais se encaixam no perfil esperado (IDEAL, 2020). Para cumprir o objetivo relacionado à gestão de conhecimento dos profissionais prestes a se aposentar, a IBM em parceria com a operadora em E&P Woodside divulgaram uma solução de IA para disponibilizar o conhecimento existente e preservar décadas de sabedoria coletiva da petrolífera (IBM, 2020c). O quinto objetivo sobre a melhora das condições de segurança do trabalhador é atendido pela empresa de IA Saratix, que fornece uma análise preditiva de alta precisão sobre os principais problemas de segurança no setor *Upstream* para uma melhor tomada de decisão e medidas preventivas de modo a garantir um ambiente de trabalho seguro (SARATIX, 2020). Além desta, há outras três soluções que atendem a não somente este último objetivo, mas de outros desafios, tais como a *BHC3 Production Optimization* da Baker e C3.ai, a *Vision IQ* da SeaDrill e a *Supervisory HSE system* da Petrobras em parceria com a Microsoft, as quais serão detalhadas nos itens desse Apêndice sobre a otimização na produção e regulamentações.

Gerenciamento de dados e ativos:

Os objetivos específicos relacionados ao gerenciamento de dados e ativos possuem soluções de IA que ultrapassam os demais desafios, com exceção da *Smart Asset Monitoring* (SAM) da empresa Similarity em parceria com a AWS. Esta solução se trata de um software de IA para o monitoramento de ativos (como máquinas), detecção de anomalias e previsão incidentes do setor *Upstream*, de modo a combinar diferentes fontes de dados, de sensores à satélites (INTEL, 2020b), o que se relaciona com o primeiro objetivo de integrar e gerenciar dados de diferentes departamentos e unidades. Outra abordagem é a *Intelligent Asset Management* da EY em parceria com outras empresas de tecnologia, que permite através da IA uma maior previsibilidade das operações de todos os setores envolvidos, da exploração ao refino e distribuição (EY, 2020b). A Baker Hughes com a C3.ai oferecem duas soluções que usam *machine learning* para cumprir dois dos três objetivos distintos desse desafio, o primeiro deles com a *Predictive Asset Maintenance*TM, uma plataforma que integra os sistemas de negócios e gerenciamento de ordem de serviços para identificar ativos de alto risco e recomendar ações prescritivas antes que ocorram falhas (BAKER, 2020d); e o terceiro objetivo com a *Inventory Optimization*, já que se propõe a minimizar os custos e transporte de estoque para cada peça ou produto, levando-se em consideração aspectos como prazos de entrega e problemas de qualidade com as peças entregues pelos fornecedores (BAKER, 2020e). Uma solução composta por IA e *blockchain* que abrange todos os objetivos desse desafio é a *SAP S/4HANA* da SAP e Accenture, que atua tanto com o gerenciamento de ativos e de compras, quanto com a promoção de transparência nas operações e fluxo de caixa do setor *Upstream* (BUSINESS WIRE, 2018). Além dessas, foram encontradas três soluções das empresas Schneider Electric e Microsoft, Validere e Lloyd's Register que atendem não somente determinados objetivos desse desafio, como de outros que serão detalhados nos itens de otimização na produção, mercado e fatores geopolíticos, e regulamentações, respectivamente neste Apêndice.

Otimização na produção:

Como parte da otimização da produção de hidrocarbonetos, a solução da parceria entre a Microsoft e a Schneider Electric se destaca por abranger todos os quatro objetivos específicos para esse desafio. Esta solução usa IA e IoT em bombas de elevação artificial para identificar proativamente falhas, de modo a reduzir o tempo de inatividade não planejado, diminuindo custos, aumentando a produção e a agilidade dos serviços de manutenção (MICROSOFT, 2017). Já a solução da Baker com a C3.ai, a *Predictive Maintenance*, possui também em comum a redução de custos, otimização no uso de ativos e menor tempo de inatividade devido a recomendação de ações prescritivas antes da ocorrência de falhas (BAKER, 2020d), porém não é relatado um aumento na produção, que pode ser atribuída a ativos como bombas de elevação artificial. Outra solução da Baker que recebe o mesmo título deste desafio, a *BHC3 Production Optimization*, promete realizar a detecção de anomalias, previsão da produção e ações prescritivas que melhoram o desempenho da produção, por meio de algoritmos de IA (BAKER, 2020e). Duas soluções que se destacam por atenderem objetivos restritos a esse desafio são das empresas Data Robot, que evita paradas indesejadas e aumenta a taxa de produção, e a Solution Seeker, que otimiza o uso de ativos e também aumenta a taxa de produção, ambas por meio dos algoritmos de *machine learning*. A primeira com a solução *Production*, se propõe a obter uma produção máxima de vida útil do poço e diminuir as interrupções desse processo (SOLUTION SEEKER, 2020); e a segunda com a *Optimizing* visa aumentar o rendimento produtivo através de um sistema que recomenda ações para otimizar as bombas utilizadas nos poços (DATA ROBOT, 2020).

Mercado e fatores geopolíticos:

Para o desafio relacionado ao mercado e fatores geopolíticos, que tornam o setor mais vulnerável às influências externas, foram encontradas soluções de IA que se mostram promissoras nesse ramo. A *Validere for Producers*, por exemplo, usa IA para otimizar o valor de um barril de petróleo, combinando dados de qualidade do petróleo com dados de mercado e preços de commodities (CDN2, 2020), o que colabora com o objetivo de obter maior controle sobre as oscilações até então imprevisíveis do mercado de commodities. E alinhado com o segundo objetivo para reter investidores, a *IHS Markit Automated Well Forecasting Technology* propõe avaliar e prever a produção de quase um milhão de poços de petróleo e gás em seu banco de dados norte-

americano, tornando-se um complemento valioso para os investidores financeiros que necessitam avaliar o risco e o desempenho futuro de uma empresa (IHS MARKIT, 2019).

Regulamentações:

Com a relação aos desafios que tangem a regulamentações obrigatórias de Segurança, Saúde e Meio Ambiente (SSMA) previstas nos ambientes petrolíferos, também foram encontradas soluções em IA com diferentes abordagens. A IBM e a Woodside, por exemplo, se uniram na solução em *deep learning* customizada *Watson for HSEQ* para diminuir o tempo de análise de informações de incidentes de segurança, chegando a uma redução de 80% (WOODSIDE, 2020). Já a empresa Lloyd's Register com o seu *LR SafetyScanner*, ajuda as empresas petrolíferas por meio da tecnologia de NLP para identificar prioridades de SSMA e reduzir as taxas de incidentes, gerenciando da melhor forma os riscos críticos (LR, 2020). Com o mesmo objetivo de reduzir as taxas de acidentes, mas com uma tecnologia IA diferente, a *Deep Neural Networks*, a solução customizada da Petrobras com a Microsoft atua ao detectar riscos e desvios ocupacionais através do monitoramento de imagens, acionando protocolos de alerta e respostas em tempo real a eventos como o uso incorreto de Equipamento de Proteção Individual (EPI), posicionamento inseguro com relação à carga, obstrução de rotas de fuga e acesso a ambientes restritos (PETROBRAS, 2019a; 2019b). Já a prestadora de serviços em E&P Seadrill lançou o Vision IQ, que usa IA para monitorar e fornecer aviso avançado de riscos em potencial ao trabalhador que atua na zona vermelha, a área do piso da plataforma onde opera-se equipamentos pesados de perfuração com um risco de acidentes mais alto (DRILLING CONTRACTOR, 2019).